

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

**Konstrukční návrh kolového podvozku s využitím
hydraulických pohonných jednotek**

Engineering Design of a Wheeled Chassis with the use
Hydraulic Drive Units

Student:

Bc. Petr Pobucký

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Milan Mihola, Ph.D.

Ostrava 2015

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Pobucký**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T013 Robotika
Téma: **Konstrukční návrh kolového podvozku s využitím hydraulických pohonných jednotek**
Engineering Design of a Wheeled Chassis with the use Hydraulic Drive Units

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte analýzu současného stavu řešené problematiky.
2. Na základě této analýzy navrhnete možné varianty řešení a proveďte jejich srovnání.
3. Vybranou variantu detailně rozpracujte.
4. Práci doplňte podrobnou technickou a výpočtovou dokumentací. Výkresovou dokumentaci vypracujte dle pokynů vedoucího práce.
5. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD a konstrukční řešení v CAD systému (dle pokynů vyučujícího).

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Kárník, L., Knořlíček, R., Marcinčin, J. N. *Mobilní roboty*. Opava: MÁRFY SLEZSKO, 2000. 210 s. ISBN 80-902746-2-5.
2. Schraft, R.F., Volz, H. *Serviceroboter*. Springer – Verlag, Berlin, 1996.
3. Kárník, L. *Robotizace v nestrojírenských oborech*. VŠB-TUO, Ostrava, 2000, 66 s. ISBN 80-7078-739-2.
4. ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
5. ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Milan Mihola, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Petr Pobucký

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Kamenná 7
78974

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

POBUCKÝ, P. *Konstrukční návrh kolového podvozku s využitím hydraulických pohonných jednotek: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky, 2015, 65 s. Vedoucí práce: Ing. Milan Mihola, Ph.D

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem kolového podvozku s využitím hydraulických pohonných jednotek. V úvodu práce jsou obecně popsány požadavky na podvozek, koncepce podvozku a druhy řízení. Na základě těchto kritérií jsou navrženy varianty řešení. Pomocí hodnotové analýzy byla vybrána optimální varianta. Tato varianta je dále rozpracovaná a vymodelovaná v programu PRO/Engineer Creo. V závěru práce je shrnutí dosažených výsledků. Součástí práce je výkresová dokumentace, která je uvedena v přílohách a na přiloženém CD je kompletní model optimální varianty.

ANNOTATION MASTER THESIS

POBUCKÝ, P. *Engineering Design of a Wheeled Chassis with the use Hydraulic Drive Units: Master Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2015, 65 p. Thesis head: Ing. Milan Mihola, Ph.D.

Master's thesis deals with the design of wheel chassis using hydraulic drives. The requirements, design concepts and types of control are described in the introduction. The possible solutions are designed according to these criteria. Use value analysis was chosen the best option. This method is further developed and modelled in Pro / Engineer Creo. In the conclusion is a summary of the results achieved. Master's thesis includes drawings, which is mentioned in the annex and on enclosed CD is a complete model of optimal variant.

OBSAH

1.	Úvod	10
2.	Analýza mobilních robotů na kolovém podvozku.....	11
2.1	Požadavky na kolový podvozek	11
2.2	Koncepce kolového podvozku.....	12
2.3	Popis podskupin podvozku	12
2.4	Způsoby řízení podvozku.....	15
3.	Hydraulika v robotice	17
3.1	Počátky hydrauliky v robotice	17
3.2	Čerpadlo (Hydrogenerátor)	18
3.3	Rotační hydromotory	18
3.4	Zubové hydromotory.....	19
3.5	Lamelové motory	20
3.6	Šroubové hydromotory.....	20
3.7	Pístové hydromotory	20
3.8	Rozvaděče	22
3.9	Filtry, ventily a hydraulické zámky	23
4.	Požadavkový list.....	24
5.	Varianty řešení.....	25
5.1	Varianta A	27
5.2	Varianta B.....	28
5.3	Varianta C.....	30
6.	Hodnotová analýza	31
7.	Popis vybrané varianty	35
7.1	Popis konstrukce.....	36
7.2	Hydraulické schéma	40
7.3	Výpočet pohonů.....	42
7.4	Popis použitých komponent	47

7.5	Výpočet kapacity baterie	56
7.6	Kontrolní výpočty	57
8.	Závěr	62
9.	Seznam použitých zdrojů	62
10.	Seznam příloh	65

Seznam použitého značení

Značka	Veličina	Jednotka
b	Šířka pera	[mm]
c ₂	Míjivé zatížení	[-]
d	Průměr čepu, hřídele	[mm]
D _t	Průměr tlakového potrubí	[mm]
D _s	Průměr sacího potrubí	[mm]
D _{od}	Průměr odpadního potrubí	[mm]
f	Valivý odpor	[-]
F	Síla na jeden čep	[N]
F _{celková}	Celková síla	[N]
F _N	Normálová síla	[N]
F _{nr}	Síla potřebná na rozjetí po nakloněné rovině	[N]
F _r	Síla potřebná na rozjetí po rovině	[N]
F _t	Třecí síla	[N]
F _x	Síla v ose X	[N]
F _y	Síla v ose Y	[N]
g	Gravitační zrychlení	[m·s ⁻²]
I	Proud	[A]
k	Bezpečnost	[-]
l	Délka pera	[mm]
m	Hmotnost	[kg]
Mk _{HM}	Krouticí moment na jedno kolo	[N·m]
Mo _{max}	Maximální ohybový moment	[N·m]
n _{el}	Otáčky elektromotoru	[ot/min]
n _{HM}	Otáčky hydromotoru	[ot/min]
P	Výkon motoru	[W]
p _{1,2}	Otlačení	[MPa]
p _{D(1,2)}	Dovolené otlačení	[MPa]
P _{el}	Příkon čerpadla	[W]
p _{pv}	Tlak pojistného ventilu	[bar]
Q _{vč}	Objemový průtok čerpadla	[m ³ ·s ⁻¹]
Q _{včs}	Skutečný objemový průtok čerpadla	[m ³ ·s ⁻¹]
r _k	Poloměr kola	[m]
Rm	Mez pevnosti	[MPa]
S _{1,2}	Plocha otláčovaná, smýkaná	[mm ²]

t_l	Výška pera v drážce	[mm]
U	Napětí	[V]
$V_{gč}$	Geometrický objem čerpadla	[cm ³]
V_{gHM}	Geometrický objem hydromotoru	[cm ³]
v_{od}	Rychlost odpadního potrubí	[m·s ⁻¹]
v_{pmax}	Maximální rychlost jízdy	[m·s ⁻¹]
v_s	Rychlost sacího potrubí	[m·s ⁻¹]
v_t	Rychlost tlakového potrubí	[m·s ⁻¹]
W_o	Modul průřezu v ohybu	[mm ³]
α	Úhel uložení tlumiče	[°]
η	Účinnost motoru	[-]
η_c	Celková účinnost	[-]
η_Q	Průtoková účinnost	[-]
η_v	Geometrická účinnost	[-]
σ_{Do}	Dovolené ohybové napětí	[MPa]
σ_{Dt}	Dovolené napětí v tahu	[MPa]
σ_O	Ohybové napětí	[MPa]
τ_{Ds}	Dovolené napětí ve smyku	[MPa]
τ_S	Smykové napětí	[MPa]

1. Úvod

Čím dál častěji se snad ve všech odvětvích od zdravotnictví, vojenství až po těžký průmysl objevuje aplikace servisních robotů. Servisní roboty slouží především k usnadnění těžké práce, pomoci nemocným lidem, používají se tam kde je nebezpečné a škodlivé prostředí pro člověka a v poslední době třeba i na sečení trávy, umývání oken a spoustu jiných užitečných aplikací. Tyto roboty se pohybují mnoha způsoby. Mezi nejčastěji používané způsoby patří kolové, pásové a krácející podvozky. Většina těchto podvozků je poháněna různými elektromotory a servomotory. Nevýhoda těchto motorů ale je, že čím výkonnější motor, tím má větší spotřebu a rozměry a od toho se odvíjí i další specifikace, jako potřeba baterie s velkou kapacitou, která má obrovské rozměry a hlavně velmi vysokou váhu. Alternativním řešením je použití hydraulických pohonů, které mají i přes malé kompaktní rozměry vysoký výkon. Nejčastěji se používají v kombinaci benzínovým nebo naftovým agregátem, který dodává energii celému obvodu. Avšak i aplikace hydropohonů má své zápory. Jedním z nich je potřeba ekologicky odbouratelné kapaliny, která se nachází v obvodu nebo aby hydraulický obvod správně fungoval, je zapotřebí dalších hydraulických součástí a úkolem této práce je navrhnout podvozek, který bude poháněný hydraulikou.

2. Analýza mobilních robotů na kolovém podvozku

Kolové podvozky jsou nejčastěji používanou skupinou pro servisní robotiku. Vzhledem k jejich častému používání vznikla spousta různých konstrukčních řešení. Rozdíl kolových podvozků je dán zejména počtem použitých kol, jednoduchostí variant uspořádání až po speciální koncepce. Aplikace kolových podvozků má velmi široké spektrum využití. Univerzálnost zařízení umožňuje pohyb servisního robota jak ve vnitřním prostředí (v budovách), tak i ve venkovním prostředí. Využívají se ve spoustě odvětvích, jako jsou např. vojenství (zbraňové systémy, monitorovací systémy, záchranářské systémy apod.), jaderný průmysl (speciální údržba, manipulace se škodlivým materiálem apod.), stavebnictví, zemědělství a lesnictví, zdravotnictví (transportní systémy, obsluha pacientů apod.), speciální výzkum (vesmírný výzkum, podmořský výzkum apod.).



Obr. 1 - Čtyřkolový podvozek

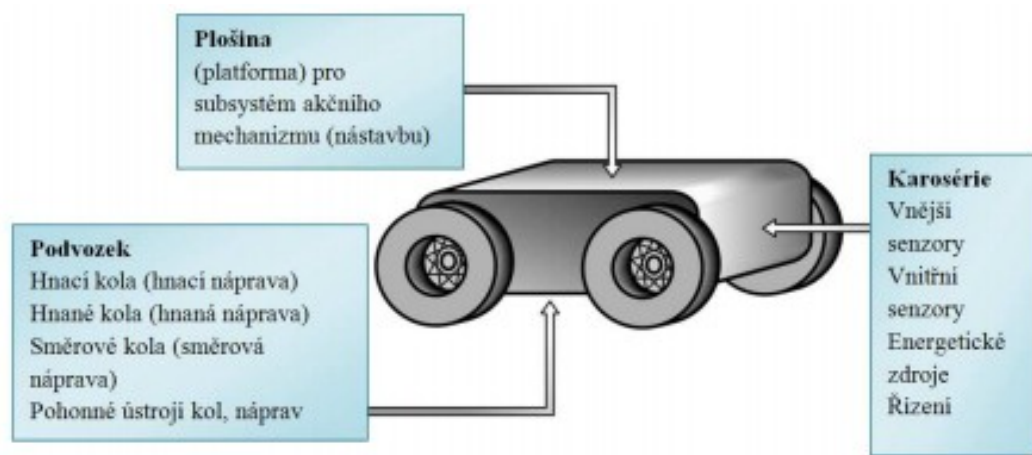
2.1 Požadavky na kolový podvozek

- Relativně nízká hmotnost a malý tlak podvozku na podložku
- Relativně vysoká užitečná nosnost robota (poměr k vlastní hmotnosti)
- Malé obrysové rozměry (poměr délka/ šířka/ výška)
- Dobrá manévrovatelnost v operačním a pracovním prostoru

- Dobrá průchodnost a brodivost (světlost podvozku, výška a poloha těžiště)
- Odolnost na nepříznivé vlivy faktorů operačního a pracovního prostředí
- Provozní jednoduchost (údržba, obsluha, příprava na provoz)

2.2 Koncepce kolového podvozku

Koncepce kolového podvozku je popsána na obecném modelu a je znázorněn na obr.2. Je popsán třemi funkčními skupinami - plošina, podvozek a karosérie.



Obr. 2 - Koncepce podvozku

2.3 Popis podskupin podvozku

Rám podvozku – plní funkci rámu celého kolového robotu (nosná část, kostra). Rám je funkčně svázaný se skupinami plošina a karosérie a podvozek.

Náprava – plní funkci lokomočního (pohybového) ústrojí. Z pohledu vykonávání pohybu se nápravy dělí na hnací a hnanou a z pohledu řízení směru na řízené (směrové) a neřízené (vlečené).

- Hnací nápravy – Jsou propojené s pohonným ústrojím a přenáší výkon pohonu na realizaci pohybu.
- Hnané nápravy – Není propojená s pohonným ústrojím a její pohyb iniciuje energie hnací nápravy.
- Řízené nápravy – Jsou propojené s řídicím mechanismem sloužícím pro změnu směru pohybu.

- Neřízené nápravy – Není propojená s řídícím mechanismem a její pohyb iniciuje energie hnací a řízené nápravy.

Pohonné ústrojí - plní funkci energetického agregátu:

- pro pohyb podvozku
- pro řízení směru pohybu podvozku,

Kolo – Je podskupinou nápravy, plní funkci výkonného prvku lokomoce, také zabezpečuje kontakt podvozku s povrchem (terénem) po kterém se pohybuje. Stejně jako nápravy se rozdělují z pohledu vykonávání pohybu na hnací a hnané a z pohledu řízení na řízené a neřízené kola.

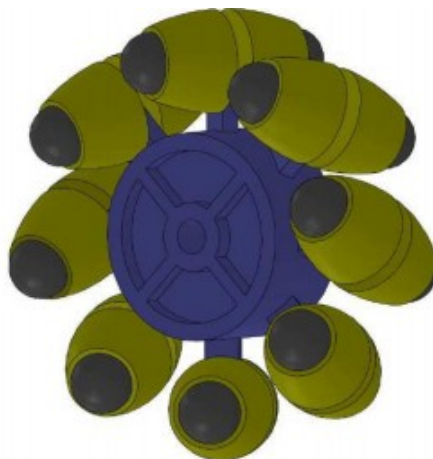
Speciální kola - U mobilních robotů se používají dva typy speciálních kol, všesměrové a Weinsteinova. U všesměrových kol máme tři zástupce - Univerzální, Stanfordské a Illanator.

Všesměrovým kolem rozumíme kolo, které má po svém obvodu jednotlivé valivé elementy v podobě válečků nebo soudečků, které se mohou volně otáčet. Pohon je přiváděn pouze na náboj kola. U Stanfordského kola je použit jako element váleček, pro lepší vlastnosti se využívá dvou řad vedle sebe. Univerzální kolo využívá válečků. Mezery mezi válečky jsou tak velké, že způsobují chvění robota, a proto se upustilo od používání těchto kol. [2]



Obr. 3 - Stanfordského kolo

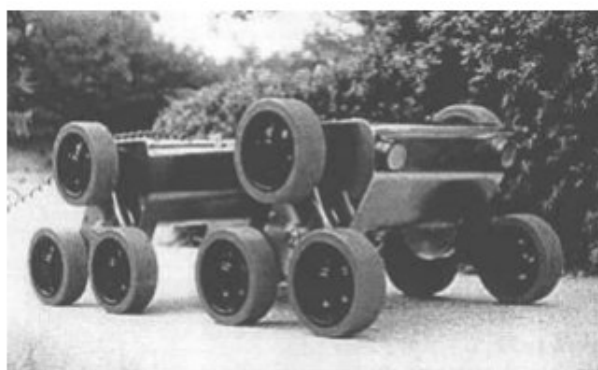
U kol Illanator jednotlivé elementy válečků mohou být, jak celistvé, tak dělené. Svírají s nábojem kola úhel 45° . Mají na vnějším poloměru téměř dokonalou kružnici a jsou nejvhodnější na použití do venkovního prostředí.[2]



Obr. 4 - Kolo Illanator

Weinsteinovo kolo se používá převážně pro šplhání robotu do schodů nebo pro pohyb v náročném členitém terénu.

Princip weinsteinových kol spočívá ve třech kolech uložených ve vrcholech pomyslného rovnostranného trojúhelníku, přičemž všechny tři kola jsou poháněna jednou hnací hřídelí umístěnou v těžišti pomyslného trojúhelníku. Krouticí moment je z hnací hřídele na kola přenášen pomocí ozubených kol popřípadě řemenem či řetězem. [3]



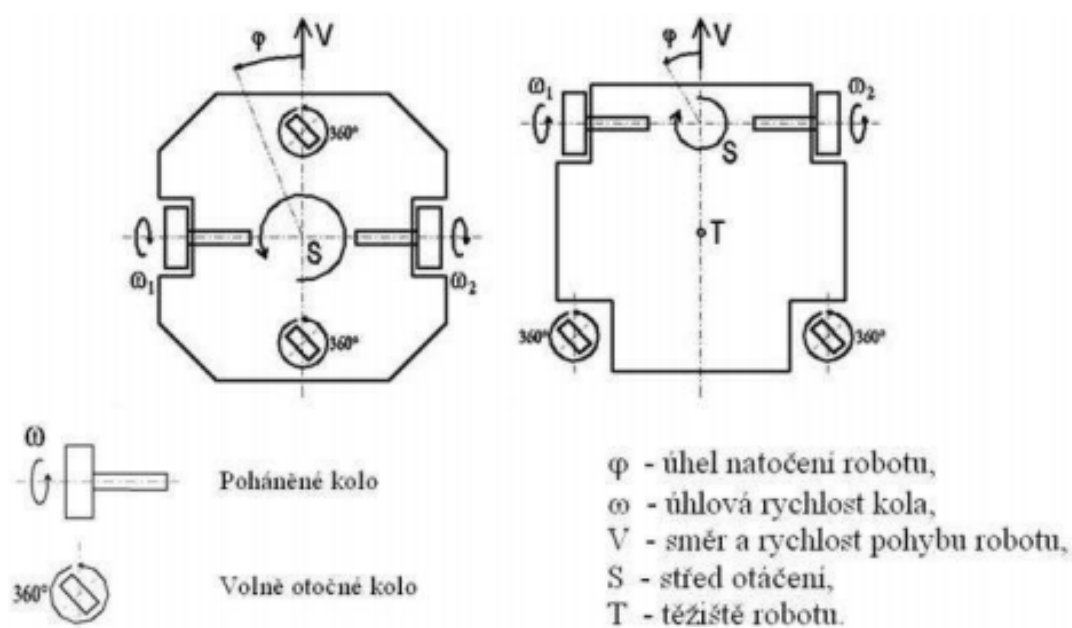
Obr. 5 - Weinsteinovo kolo

Karosérie - plní funkci ochranného krytu funkčních částí podvozku před nepříznivým vplyvem faktorů operačního a pracovního prostředí.

2.4 Způsoby řízení podvozku

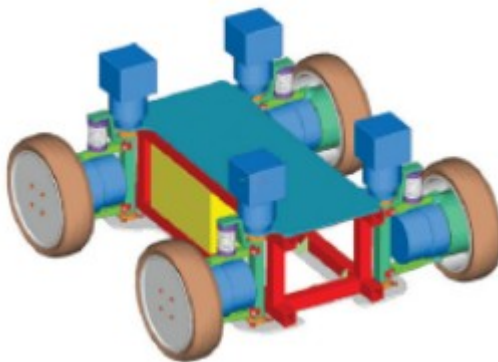
Čtyřkolové roboty mohou být vytvořeny se třemi typy řízení a to diferenčním, synchronním nebo Ackermannovým řízením. Rovněž jsou jak staticky, tak i dynamicky stabilní, proto zde není potřeba gyroskopické stabilizace.

Diferenční řízení čtyřkolového podvozku pracuje stejně jak u tříkolového typu se dvěma na sobě nezávisle poháněnými koly. Má ovšem dvě volně otočná nepoháněná kola, které slouží ke stabilizaci robota. Mohou být dvě řešení uložení volně otočných kol. Za prvé jsou uloženy v jedné ose, která je rovnoběžná s osou kol poháněných. Při druhé variantě je jejich osa uložena kolmo na osu kol otáčení. Zatočení robota je prováděno pomocí rozdílné rychlosti otáčení poháněných kol. Výhoda tohoto řízení spočívá v možnosti robota otočit se na místě, kterou může využívat ve stísněných prostorech. [2]



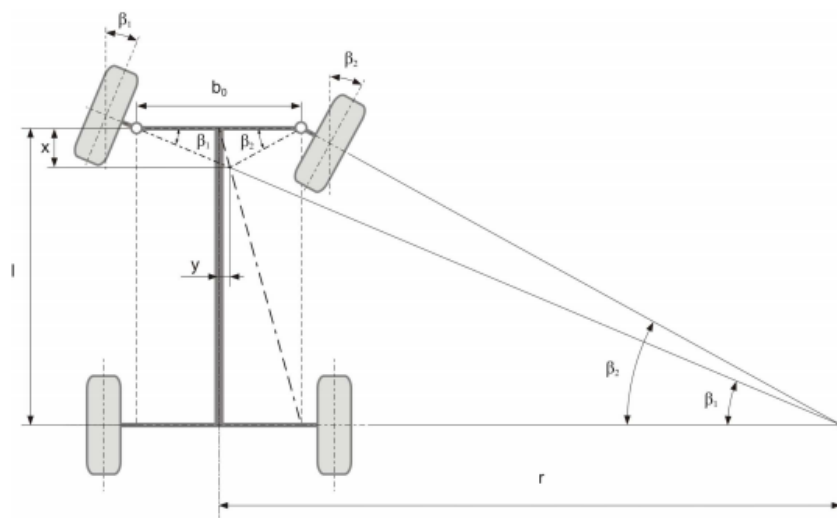
Obr. 6 - Diferenční řízení

U synchronního řízení mají vždy kola stejnou rychlost otáčení a stejné natočení, z toho plyne, že všechny kola jsou poháněna i otočná. Synchronní řízení nám zajišťuje okamžitou možnost změny směru jízdy v rozsahu 360° a rovněž stejně jako diferenční řízení umožňuje otočení na místě. Nevýhodou je neschopnost překonávání větších terénních nerovností a překážek. [2]



Obr. 7 - Synchronní řízení

Čtyřkolový robot řízený Ackermannovým způsobem má dvě kola poháněná a dvě kola otočná. Poháněná kola musí mít buď mechanický, nebo elektronický diferenciál. Z důvodu vykroužení různě dlouhých drah otáčivých kol při zatočení, je natočení kol mírně rozdílné, aby nedocházelo ke smýkání kol (vnější kolo má menší úhel natočení, než vnitřní). Tento způsob řízení je využíván například i u běžných automobilů. Nevýhodou Ackermannova řízení je nemožnost otočení se na místě, z čehož plyne, že potřebuje větší manipulační prostor. [2]



Obr. 8 – Ackermannovo řízení

3. Hydraulika v robotice

3.1 Počátky hydrauliky v robotice

Počáteční období využívání hydraulických mechanismů ve stavbě strojů je spojeno především s konstrukcemi hydraulických lisů. Druhé, zejména poválečné období znamená razantní nástup hydrauliky v podstatě do všech strojírenských oborů. Hydraulika sehrála nezastupitelnou roli v ovládacích systémech letadel a rychle se rozšířila i v konstrukcích zemních, stavebních a postupně i zemědělských strojů. V šedesátých letech to byly především hydraulické mechanismy, které se uplatnily při vytváření prvních konfigurací průmyslových robotů. V souvislosti s konstrukcemi robotů se výhodně uplatnila možnost přímé realizace přímočarých pohybů s požadovanými parametry bez nutnosti zařadit mechanický transformační blok. Modifikované uspořádání pohonu s kyvně uloženým přímočarým motorem umožnilo jednoduše vyvodit kývavý pohyb, což je předpoklad pro stavbu sférických, popř. cylindrických polohovacích struktur. Hydraulické mechanismy mají velkou zásluhu na úspěchu prvních robotů americké firmy Unimation. Jde o známé typy Unimate se sférickou kinematickou strukturou, které byly na počátku sedmdesátých let v rámci licence vyráběny i v Japonsku a jsou pokládány za počátek nejen výroby, ale i samostatného vývoje robotů v této asijské zemi. Díky malým rozměrům hydraulických prvků a možnosti přímého spojení motorů s výstupy pohybových jednotek bez převodu byly hydraulické mechanismy dlouho používány i v konstrukcích robotů pro stříkání barev. Výrazný úspěch v této souvislosti měly roboty norské firmy Tralfa, které se dále úspěšně uplatnily i na automatických svařovacích pracovištích. [4]

Hydraulické pohony jsou v robotice mnohem méně používané než elektrické pohony. Mezi jejich výhody však patří práce s velkými silami a momenty. Jejich nevýhody jsou vyšší cena, potřeba kvalitní pracovní kapaliny, které jsou biologicky snadno odbouratelné a neškodné k prostředí a pro funkci motoru jsou zapotřebí další komponenty.

Komponenty které se využívají v hydraulických obvodech jsou různé filtry, rozvaděče, pojistné ventily, škrťací ventily, čerpadla, zámky a hadice pro rozvod kapaliny.

3.2 Čerpadlo (Hydrogenerátor)

Čerpadlo je mechanický stroj, který dodává kinetickou nebo talkovou energii tekutině, která skrz něj protéká. Poháněno však obvykle bývá jiným strojem. Ve většině případů elektromotorem. Je několik druhů provedení čerpadla. Mezi nejpoužívanější patří zubové čerpadlo s vnějším ozubením, s vnitřním ozubením, lamelové, šroubové a pístové. Charakteristickou veličinou hydrogenerátoru je geometrický objem, což je objem kapaliny, který jím proteče během jediné otáčky.



Obr. 9– Čerpadlo

3.3 Rotační hydromotory

Hydromotory jsou výstupním prvkem hydraulického mechanismu. V porovnání s hydrogenerátory plní inverzní funkci. Na vstupu se do hydromotoru přivádí kapalina o určitém průtoku a tlaku. V pracovním prostoru se přivedená energie převádí ze sloupce kapaliny na pracovní prvky daného hydromotoru. Na výstupní části je moment a otáčky. Rotační hydromotory charakterizuje široký rozsah otáček, menší rozměry a hmotnosti.

Dělení dle činných prvků, které vytváří geometrický objem motoru:

- Zubové
- Lamelové
- Šroubové
- Pístové

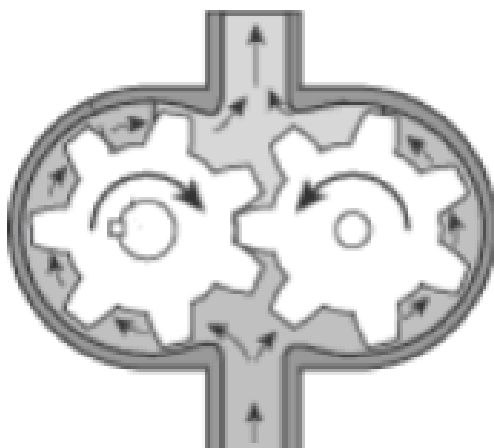
V dnešní době se nejčastěji využívají z rotačních motorů motory lamelové a pístové. Důvodem většího využití lamelových motorů je jejich velký geometrický objem při relativně malých rozměrech. Axiální pístové motory se využívají vzhledem k dynamickým vlastnostem pro vysoké frekvence, na rozdíl od radiálních, které se využívají pro nízké frekvence a velké kroutící momenty [5].

3.4 Zubové hydromotory

Využití těchto hydromotorů je tam, kde se pracuje při vyšších otáčkách. Fungují jako reverzní, tudíž může pracovní médium proudit v obou směrech. Tyto motory tvoří dvě spolu zabírající ozubená kola. Pracovní prostor tvoří mezera mezi zuby. Při nízkých otáčkách není vhodné zubové motory používat, protože jejich účinnost je velmi malá a skluz velký. Řídit kroutící moment lze pouze změnou tlaku. Zubové hydromotory lze rozdělit na hydromotory s vnějším a vnitřním ozubením [5].

Hydromotory s vnějším ozubením

Pracovní médium je přiváděno na vstupní část motoru. Díky tlakovému spádu mezi vstupem a výstupem se ozubená kola uvedou do pohybu a kapalina proudí do výstupní části motoru. Profil zubu může mít libovolný tvar, který musí splňovat normy. Nejčastěji se využívá cykloidní a evolventní ozubení. Kola musí být vyrobena z jedné série výrobní operací odvalováním [5].



Obr. 10 – Zubový hydromotor

Hydromotory s vnitřním ozubením

Rotor hydromotoru s vnitřním ozubením tvoří sedm zubů, které chodí po tzv. statickém kole, které obsahuje vždy jeden zub navíc než kolo rotoru. Těmito počty je docíleno, že záběr ozubených kol je stálý. Záběr ozubených kol vytváří sedm oddělených pracovních komor, ze kterých jsou tři komory spojeny se vstupním prostorem a čtyři komory s výstupním tlakovým prostorem. Rozvod média do komor zajišťuje rozváděcí ústrojí, které může být radiální nebo axiální. Rotor vykonává složený planetový pohyb. Nejznámějším zástupcem je hydromotor s označením ORBIT (orbitální pohyb pastorku). Výhodou ORBIT motorů je velký výstupní moment při nízkých otáčkách [5].

3.5 Lamelové motory

Charakteristickým znakem lamelových motorů je velký geometrický objem při relativně malých rozměrech v porovnání s ostatními rotačními motory. Princip těchto motorů spočívá v otáčejícím se rotoru uvnitř statoru a plochých radiálně pohyblivých lamelách, které jsou přitlačovány pružinami. Tím je zaručen rozběh i při zatížení.

Dělení lamelových motorů dle krivkové dráhy a uspořádání lamel je[5]:

- s nevyváženým rotorem
- s vyváženým rotorem
- s lamelami ve statoru

3.6 Šroubové hydromotory

Šroubové hydromotory nejsou příliš rozšířené. Výhodou je rovnoměrnost otáčení a nízká hlučnost. Pracovní tlak je až 20 MPa. Náročnost na čistotu média není vysoká. Účinnost šroubových hydromotorů je závislá na otáčkách a viskozitě kapaliny [5].

3.7 Pístové hydromotory

Pístové hydromotory jsou nejrozšířenější motory, které se používají v hydraulických mechanismech. Pracovním prvkem je píst, který koná přímočarý vratný pohyb. Dělí se do dvou skupin: axiální a radiální [5].

Axiální pístové hydromotory

Vyrábějí se v regulačním i neregulačním provedení. Používají se v prostředí, kde je třeba dosahovat vysoké frekvence. Dle konstrukce se axiální pístové hydromotory dělí na motory[5]:

- **s nakloněným blokem válců**

Tyto motory mají větší rozměry. Nevýhodou jsou horší dynamické vlastnosti, avšak volba vyšších otáček a tím i větší regulační rozsah jsou žádané [5].

- **s nakloněnou deskou**

Hydromotor s nakloněnou deskou má nižší rozběhový moment, což je způsobeno vyššími třecími odpory mezi pístem a blokem válců při přenosu momentu od nakloněné desky přes blok válců na hřídel motoru, tím má také menší účinnost. Jeho výhodou jsou menší rozměry [5].

Radiální pístové hydromotory

Radiální pístové hydromotory jsou navrhovány pro nízké a střední otáčky. Tlak, při kterém se pracuje, dosahuje až 40 MPa. Výhodou při vyšších tlacích je vysoký kroutící moment, který je používán k pohonu strojů bez mechanické převodovky. Podobně jako radiální hydrogenerátory jsou radiální pístové hydromotory vyráběny ve dvou provedeních[5]:

- **s písty vedenými ve statoru**

Síla z pístu od tlaku kapaliny se přenáší na výstředník vytvořený na výstupním hřídeli hydromotoru. Přenos síly od pístu ke středu excentru je zajištěn prostřednictvím ojnice, naklápěním vedení pístu nebo prostřednictvím vícebokého hranolu. Počet pístů bývá 5 až 7, pro zvýšení kroutícího momentu mohou být písty uspořádány ve dvou řadách, vzájemně pootočených o polovinu rozteče. Rozvod je válcovým nebo plochým šoupátkem. Protože geometrický objem je tvořen zdvihem pístů sledujících kruhovou dráhu, nazývají se hydromotory tohoto typu jednokřivkové [5].

- **s písty vedenými v rotoru**

Odlišností od radiálního hydrogenerátoru má hydromotor v křivkové dráze pro písty, díky které je možný několikanásobný zdvih každého pístu během jedné otáčky. Z tohoto

důvodu se těmto hydromotorům říká víceřivkové. Rozvod kapaliny je válcovým nebo plochým šoupátkem. Tyto hydromotory mají sudý počet pístů, díky kterým jsou radiální síly vyrovnány.

Nejčastější použití radiálních pístových hydromotorů je u pohonů navíjecích bubnů jeřábů a pohonů pojezdových kol mobilních strojů. Při velkých točivých momentech se tyto hydromotory kombinují s planetovým převodem, který je opatřen brzdou pro klidovou polohu hydromotoru [5].

3.8 Rozvaděče

Nedílnou součástí hydraulického obvodu je rozvaděč, který slouží pro automatické řízení průtoku.

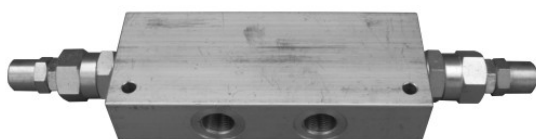
Hydraulický rozvaděč má vždy neutrální polohu, ve které nevykonává žádnou činnost. Dále může mít jednu nebo dvě činné polohy. Zjednodušeně pokud pohnete páčkou dopředu tak „pustí“ olej do jednoho okruhu nebo směru. To je jedna činná poloha. Pokud má stejnou funkci i při pohybu páčkou dozadu, pak je hydraulický rozvaděč dvojčinný. Tímto způsobem se dá korigovat směr otáčení hydromotoru. [6]



Obr. 11 – Rozvaděč

3.9 Filtry, ventily a hydraulické zámky

Tyto prvky ve většině případů plní funkci jistící. Filtry slouží pro čištění kapaliny, aby nedošlo k zanesení součástí nečistotami. Nejčastěji používané ventily jsou škrtkové a pojistné. Škrtkovými se řídí průtok do jednotlivých komponent obvodu a pojistné zajišťují, že při přetížení obvodu dojde k odlehčení tlaku v zařízení.



Obr. 12 – Brzdový ventil



Obr. 13 – Pojistkový ventil

4. Požadavkový list

Obecné požadavky:

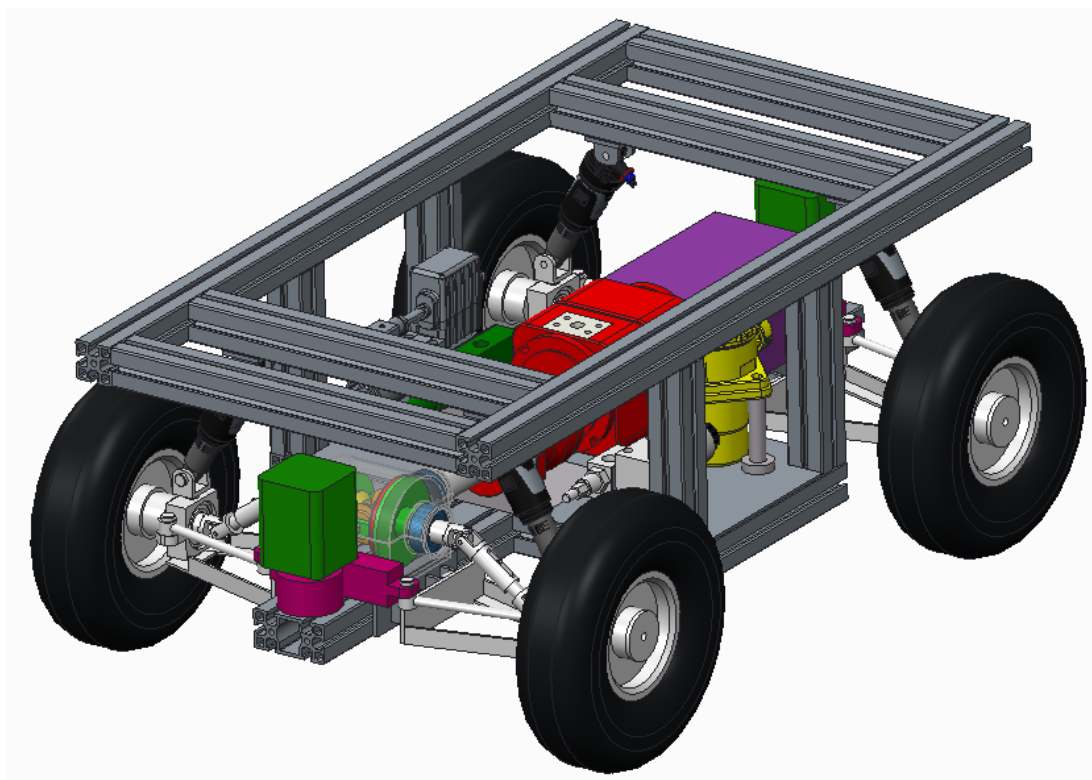
- Nosnost robotu max. 150 kg
- Váha robotu max. 250 kg
- Rozměry: max. 750 mm na šířku (průjezd dveřmi)
- Použití: Vnitřní a vnější
- Zdroj: Baterie
- Výdrž zdroje alespoň 1 h
- Místo na možné vytvoření manipulační nástavby
- Ovládání operátorem
- Těžiště položené co nejnižší
- Jednoduchost konstrukce (použití dostupných profilů)

Požadavky na jízdní vlastnosti:

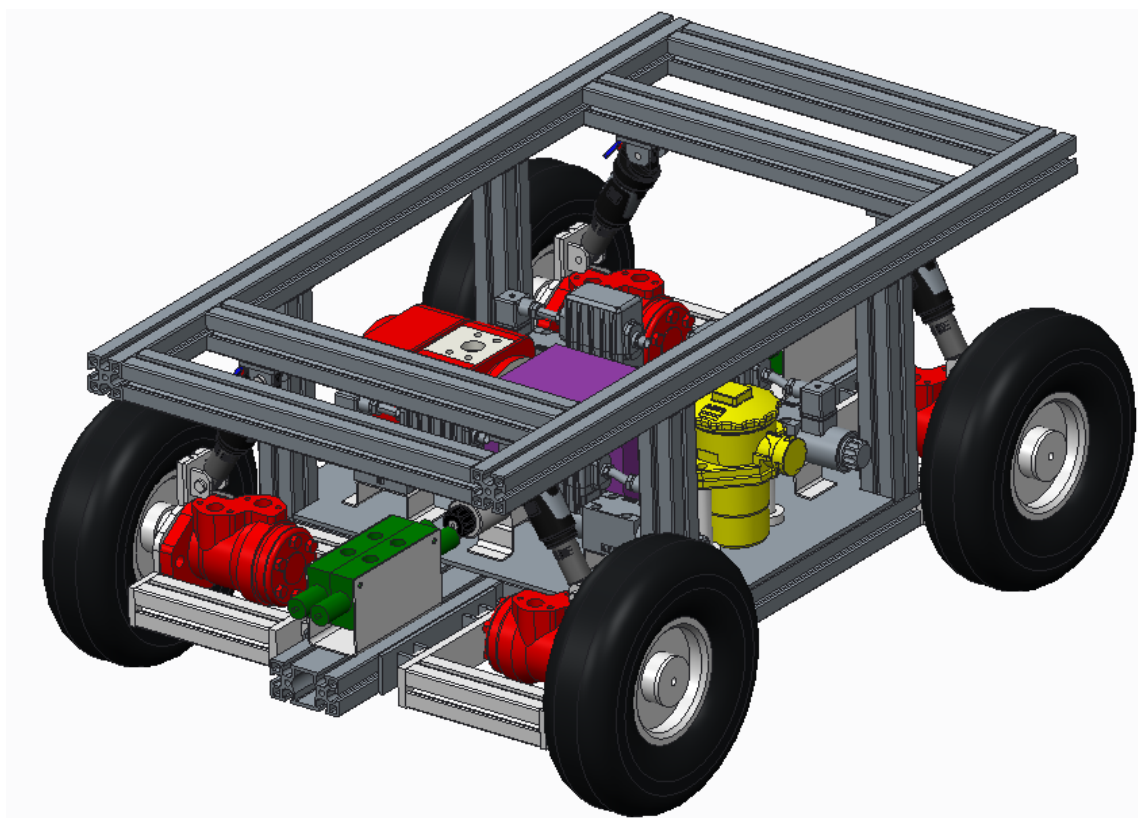
- Výjezd nakloněné roviny 45°
- Rychlost podvozku max. 0,5 m/s

5. Varianty řešení

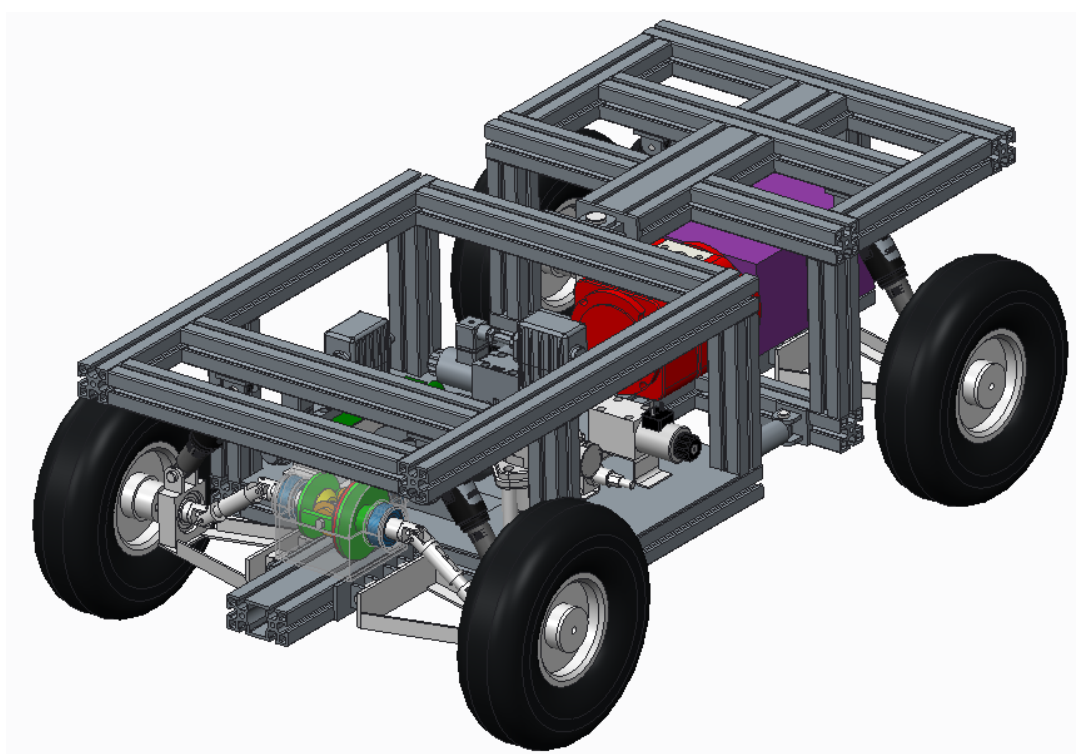
Navrženy jsou tři varianty, které se liší ve způsobu zatáčení a rozvodu krouticího momentu na kola. Ve všech variantách jsou použity stejné hydraulické komponenty, kromě hydromotů, které se liší v krouticím momentu a ostatních důležitých parametrech. Aby konstrukce podvozku byla jednoduchá a snadno složitelná, tak je vyrobena z běžně dostupných hliníkových a železných profilů. Varianty A, B, C jsou na obrázcích 14,15,16.



Obr. 14 – Varianta A



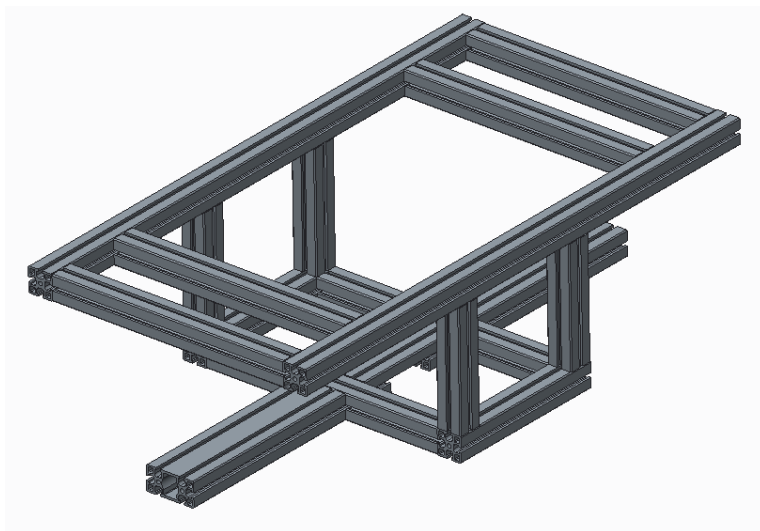
Obr. 15 – Varianta B



Obr. 16 – Varianta C

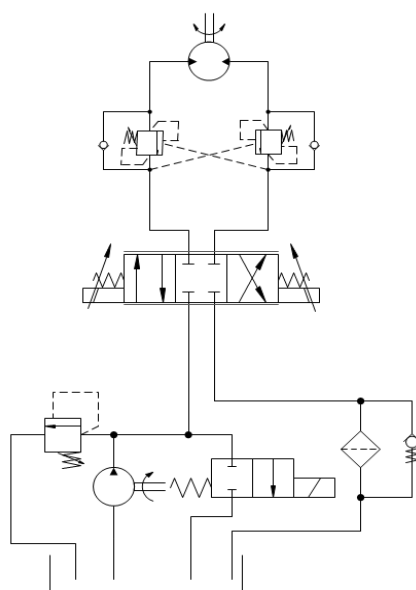
5.1 Varianta A

Celý rám podvozku je poskládám z hliníkových profilů firmy Alutec o modulu 45. Základem celého rámu je široký profil 45x90 mm na který jsou ostatní profily přišroubovány. Rám je udělaný tak, že jeho horní část tvoří velkou nosnou plochu a ve spodní části jsou připevněny veškeré hydraulické komponenty.



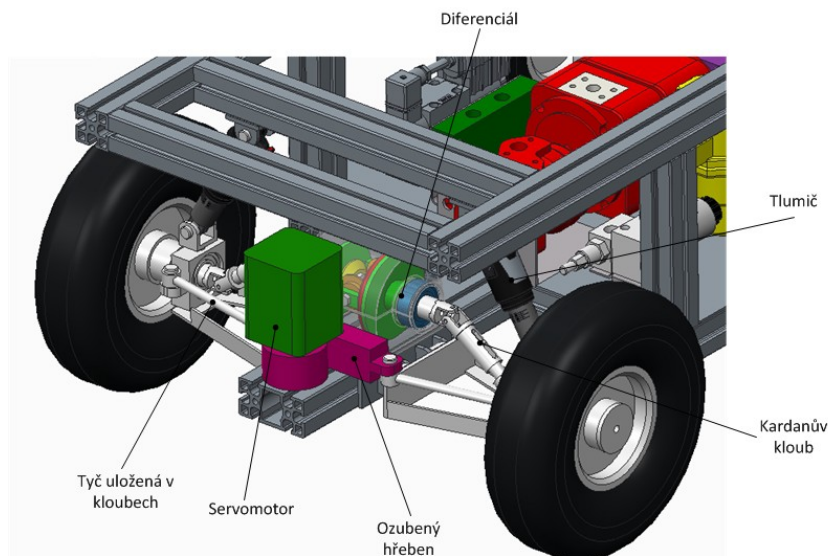
Obr. 17 – Rám podvozku A

Celý podvozek pohání jeden hydromotor. Krouticí moment z něj je na kola přiváděn přes diferenciál a následně přes kardanův kloub. Jedna náprava je hnací a druhá hnaná. Celý hydraulický obvod se kromě hydromotoru ještě skládá z brzdného ventilu, rozvaděče, čerpadla, pojistného ventilu, odlehčovacího ventilu a odpadního filtru.



Obr. 18 – Hydraulické schéma A

Pro zmírnění otřesu podvozku a zlepšení jízdních vlastností je každé kolo odpružené tlumičem. Použitý je tlumič který se standartně používá na jízdní kola, ale díky kompaktním rozměrům a dobrým vlastnostem je použit i zde.

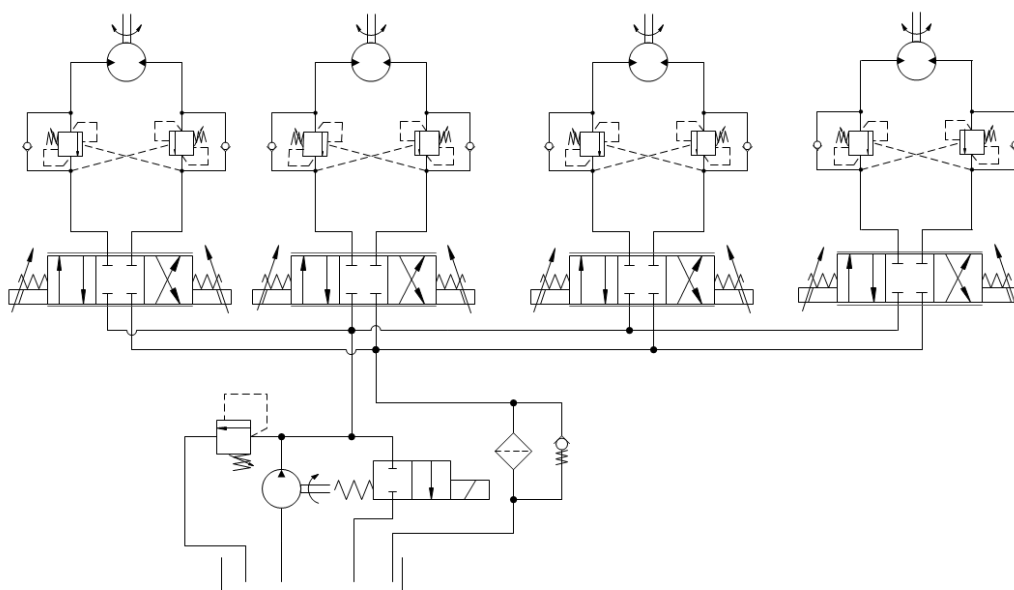


Obr. 19 – Podvozek A

Řízení tohoto podvozku je zajištěno pomocí dvou řízených náprav. Samotné zatačení kol je realizováno pomocí servomotoru a ozubeného hřebenu, kdy při otočení servomotoru se otočí pastorek a dojde k posunu hřebene, který zatočí kola přes tyč uloženou v kloubech. Nevýhody jsou, že servomotor je elektrosoučástka, takže bude větší odběr z baterie a složitost konstrukce zatačení.

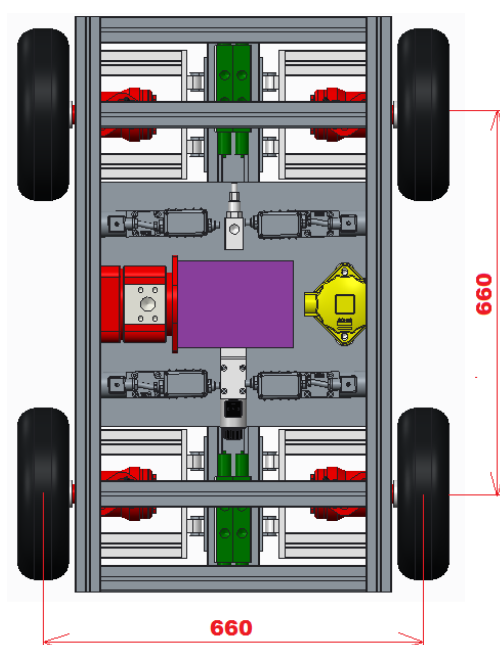
5.2 Varianta B

Rám podvozku je téměř totožný s variantou A (obrázek 17), jen se liší rozměrově. Podvozek je poháněný čtyřmi hydromotory, které jsou napřímo napojeny na kolo, tudíž jsou jak zadní tak přední náprava hnací. Další hydraulické komponenty v obvodu jsou čtyři brzdné ventily, rozvaděče, čerpadlo, pojistný ventil, odlehčovací ventil a odpadní filtr.



Obr. 20 – Hydraulické schéma B

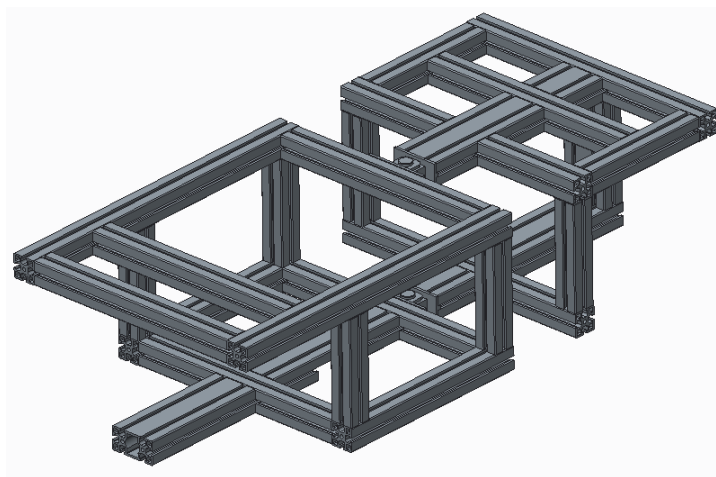
Ze schématu je patrné, že každý hydromotor je řízený samostatně. Podvozek je řízený diferenčně. To nese nevýhodu, že je podvozek omezen rozměrově na délku a to kvůli tomu, že kola musí být uspořádaná do čtverce jak je vidět na obrázku 21, jinak by diferenční řízení bylo těžko proveditelné. Hlavní výhodou tohoto řízení je zatačení téměř na místě, tudíž je možný pohyb i ve stísněnějších prostorech v budově. Opět je každé kolo odpružené proti otřesům pomocí stejných tlumičů, jako ve variantě A.



Obr. 21 – Podvozek B

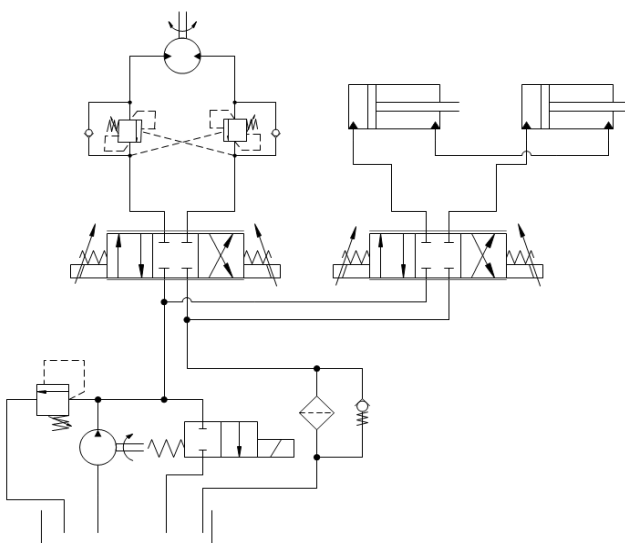
5.3 Varianta C

Rám podvozku se u této varianty skládá ze dvou částí, které jsou spojeny v kloubu pomocí čepů. Základem je opět profil 45x90 na který jsou přišroubovány ostatní profily. Podvozek je v tomto případě poháněn jedním hydromotorem, kdy krouticí moment z něj je na kola přiveden přes diferenciál a dále pak přes kardanův kloub. Jedna náprava je hnáná a druhá hnací.



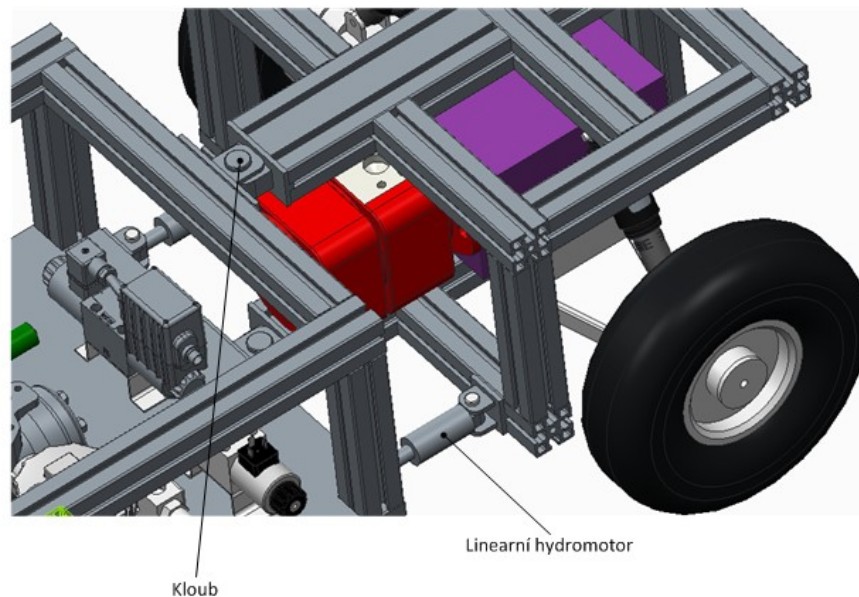
Obr. 22 – Rám podvozku

Hydraulický obvod je podobný jako v předchozích variantách s tím rozdílem, že jsou zde použity ještě navíc dva lineární hydromotory, které jsou mezi sebou propojené. Důvod propojení je, že pracují vždy současně. Pomocí nich je realizováno zatáčení. Při vysouvání jednoho z nich se druhý zasouvá a tím dojde k natočení kolem kloubu (obrázek 24).



Obr. 23 – Hydraulické schéma C

Nevýhodou této variaty je, že čerpadlo je v druhé části rámu a hadice pro rozvod kapaliny tudíž musí být vedeny kolem kloubu, tak se budou pro zatáčení ohýbat. Odpružené je opět každé kolo zvlášť pomocí tlumiče používaného u jízdních kol.



Obr. 24 – Podvozek C

6. Hodnotová analýza

Hodnoty kritérií

Hodnoty kritérií jsou zvoleny tak, že nejlepší stav je označen číslem 10 a nepříznivý stav číslem 0.

Úroveň	Hodnota
Vysoká	10
Dobrá	8
Průměrná	6
Nízká	4
Nevyhovující	2
Nepříznivý stav	0

Tabulka 1

Kritéria hodnocení

Při volbě kritérií jsou zvoleny kritéria, ve kterých se podvozky lišily významným způsobem.

Označení	Kritérium	Charakteristika kritéria
K1	Složitost konstrukce	Montáž
K2	Hmotnost	Celková váha konstrukce
K3	Pohyblivost	Zatáčení v prostorech
K4	Cena	Náklady na pořízení
K5	Nosná plocha	Velikost nosné plochy

Tabulka 2

Přiřazení číselných hodnot k jednotlivým kritériím

	Krit. 1	Krit. 2	Krit. 3	Krit. 4	Krit. 5
Varianta A	6	6	8	4	10
Varianta B	10	8	10	8	10
Varianta C	8	6	6	6	6

Tabulka 3

Metoda porovnávání párů

Pro určení významnosti kritérií je použita metoda porovnávání v trojúhelníku párů. Významnější kritérium je zvýrazněno tučně.

Porovnávané páry kritérií				Počet voleb (v)	Pořadí
K1	K1	K1	K1	1,5	3.
K2	K3	K4	K5	-	
	K2	K2	K2	0,5	4.
	K3	K4	K5	-	
		K3	K3	2,5	2.
		K4	K5	-	
			K4	3,5	1.
		K5	1,5	3.	
Vypracoval:			Bc. Petr Pobucký		

Tabulka 4

Porovnávané páry kritérií				Počet voleb (v)	Pořadí
K1	K1	K1	K1	1	4.
K2	K3	K4	K5	-	
	K2	K2	K2	1	4.
	K3	K4	K5	-	
		K3	K3	4	1.
		K4	K5	-	
			K4	2,5	2.
			K5	1,5	3.
Vypracoval:			Bc. Pavel Heider		

Tabulka 5

Porovnávané páry kritérií				Počet voleb (v)	Pořadí
K1	K1	K1	K1	1,5	3.
K2	K3	K4	K5	-	
	K2	K2	K2	1,5	3.
	K3	K4	K5	-	
		K3	K3	1,5	3.
		K4	K5	-	
			K4	3,5	1.
			K5	2	2.
Vypracoval:			Bc. Marek Šostok		

Tabulka 6

Kritérium	Váha významnosti q
K1	1,33
K2	1
K3	2,66
K4	3,16
K5	1,66

Tabulka 7

Váha významnosti q byla určena podle vzorce:

$$q = \frac{\sum K_i}{p} = \frac{4}{3} = 1,75 [-]$$

Varianta A			
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti q	Vážený index kritéria
K1	6	1,33	7,98
K2	6	1	6
K3	8	2,66	21,28
K4	4	3,16	12,64
K5	10	1,66	16,6
Celkový součet indexů:			64,5

Tabulka 8

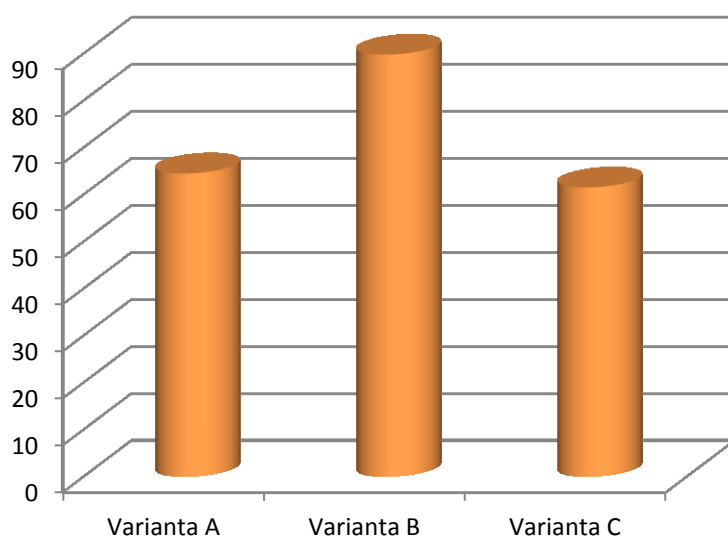
Varianta B			
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti q	Vážený index kritéria
K1	10	1,33	13,3
K2	8	1	8
K3	10	2,66	26,6
K4	8	3,16	25,28
	10	1,66	16,6
Celkový součet indexů:			89,78

Tabulka 9

Varianta B			
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti q	Vážený index kritéria
K1	8	1,33	10,64
K2	6	1	6
K3	6	2,66	15,96
K4	6	3,16	18,96
	6	1,66	9,96
Celkový součet indexů:			61,52

Tabulka 10

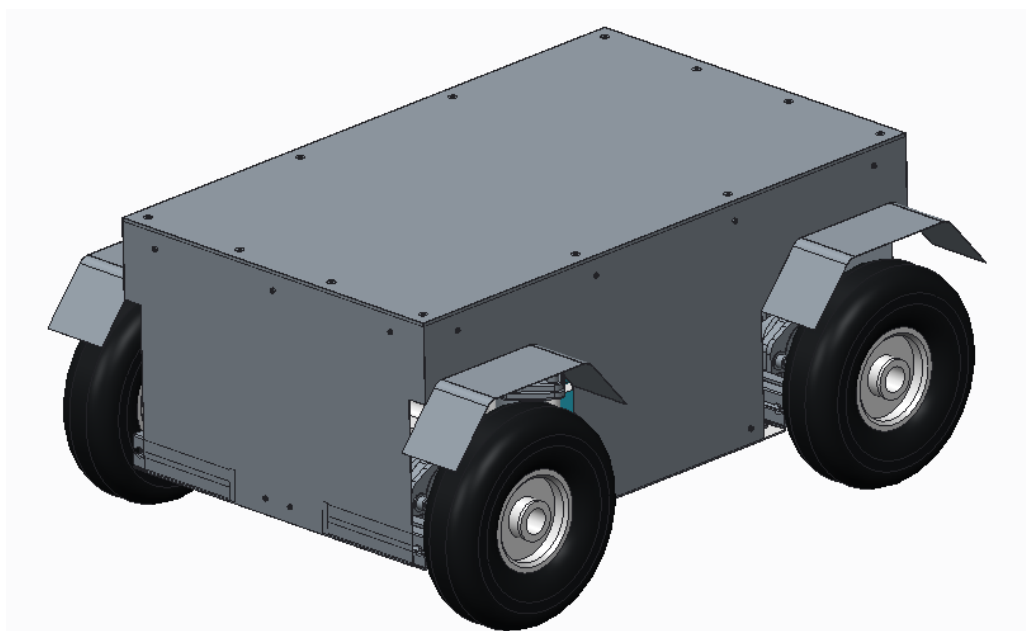
Výběr varianty



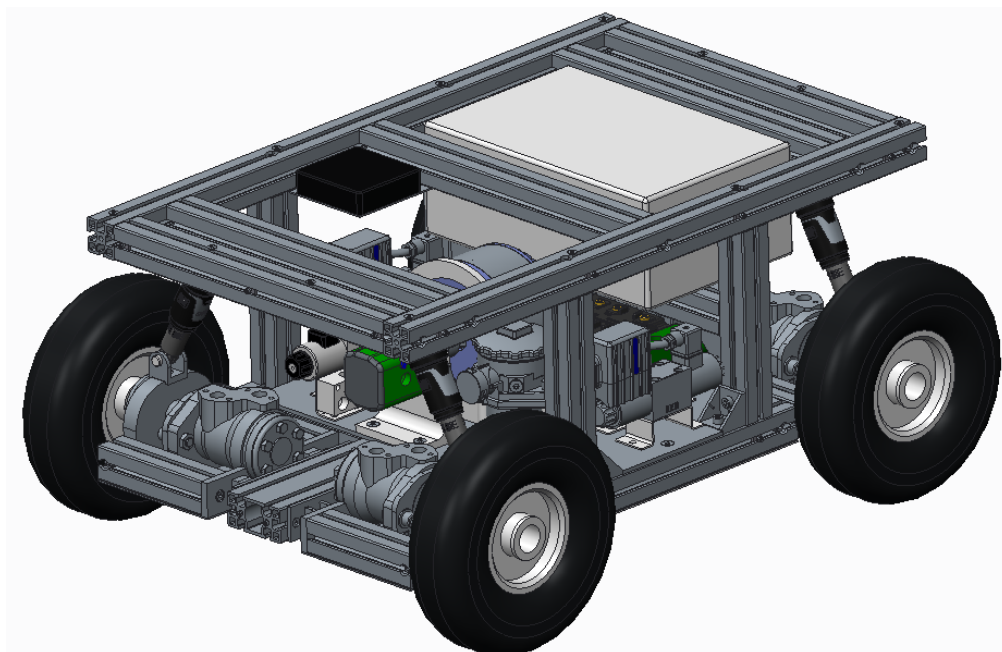
Graf 1 – Vyber varianty

Pomocí hodnotové analýzy bylo zjištěno, že vyhrála varianta B, což je znázorněno i v grafu.

7. Popis vybrané varianty



Obr. 25 – Vzhled varianty



Obr. 26 – Vzhled varianty bez krytu

7.1 Popis konstrukce

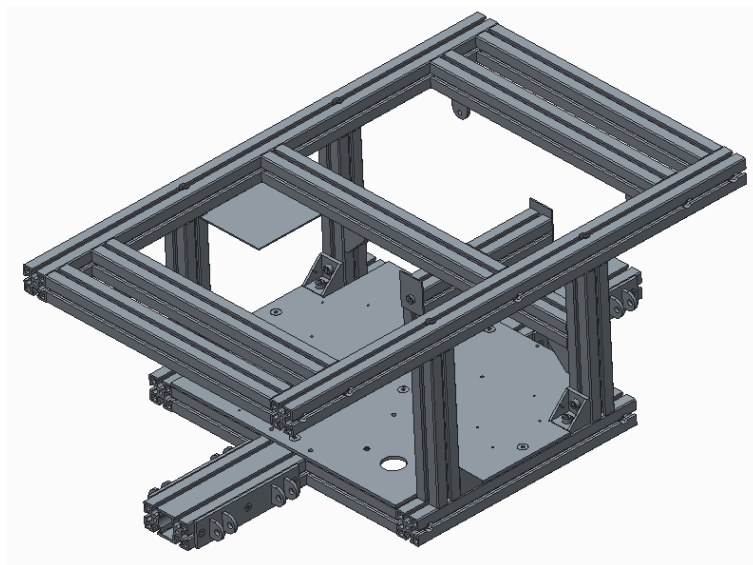
Základní kostra (rám)

Kostra se skládá z profilů modulu 45x45 a 45x90 od firmy Alutec. Profily jsou z hliníku, tudíž jsou lehké. Jejich výhoda spočívá v jednoduchosti spojování mezi sebou a s jinými díly a to díky drážkám, které jsou v profilu udělány. Do drážek se zacvakne speciální matice s pružinou, také od firmy Alutec, a následně se do ní zašroubuje šroub do velikosti M8 (obrázek 27).



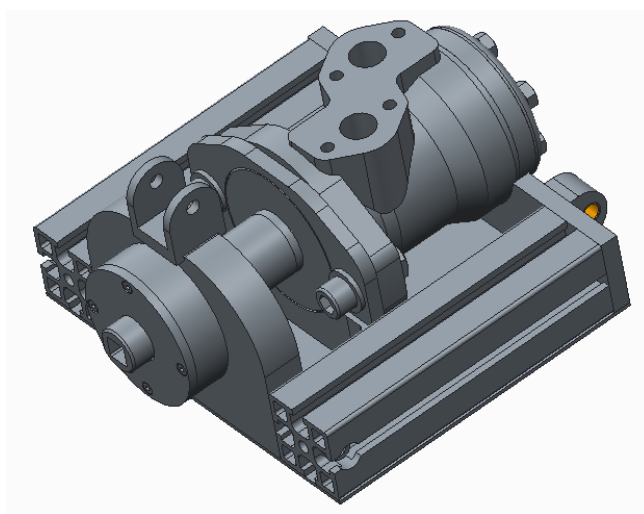
Obr. 27 – Profil Alutec

Základním nosným prvkem je rám 45x90 na který je vše ostatní přidělané. Profily jsou mezi sebou ve většině případů sešroubovány pomocí vyvrtaných děr. Na některých místech jsou dané i patky pro zvětšení tuhosti rámu. Ve spodní části rámu je hliníková deska, na kterou jsou přidělané další komponenty. Hmotnost rámu se dle analýzy v Creo parametric pohybuje kolem 30 kilogramů.



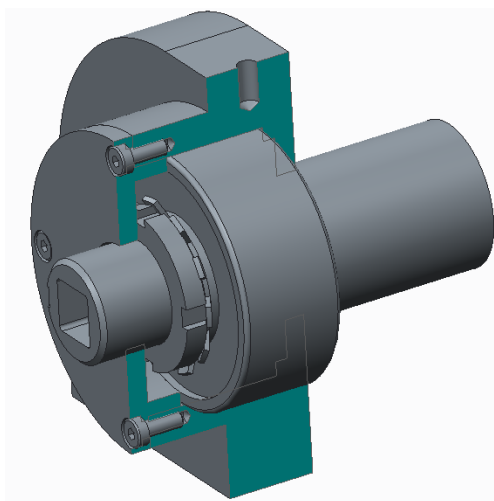
Obr. 28 – Rám podvozku

Náprava se otáčí kolem čepů, které se pro zmenšení tření pohybují v kluzných pouzdrech ZSM-0507-10 od firmy Igus. Ložiska jsou kvalitní, mají vysokou pevnost v tlaku a vynikající odolnost proti opotřebení. Součástí nápravy je hydromotor který přivádí krouticí moment na kolo přes ložiskový domek.



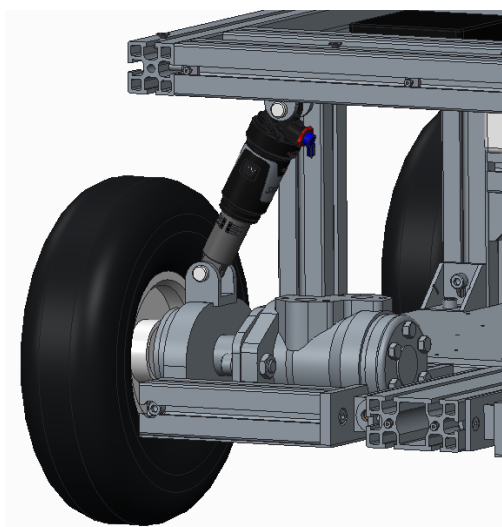
Obr. 29 – Náprava

Ložiskový domek tam slouží především pro zachycení radiálních a axiálních sil, které by mohli uškodit hydromotoru. Pro zachycení sil je zde použito dvouřadé kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem, které je proti posunu pojištěno z jedné strany KM maticí s MB podložkou a víkem a z druhé strany se opírá o hřídel a tělo domku. Hřídel přenáší krouticí moment z hydromotoru pomocí těsného pera a dále pak na kolo pomocí čtyřhranu. Kolo je proti posunu zajištěno šroubem, který je pro větší pevnost zalepený v závitu lepidlem. (Ložisko na obrázku je jen ilustrativní).



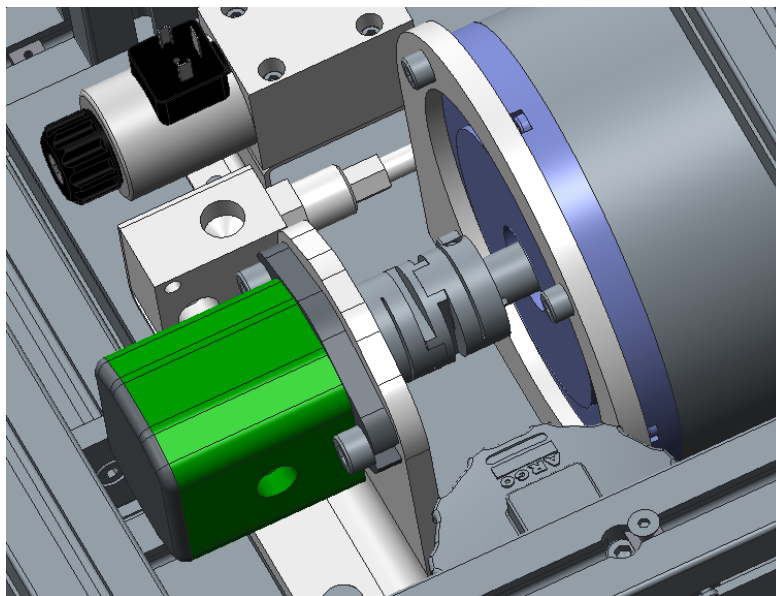
Obr. 30 – Ložiskový domek

Pro zmírnění otřesů podvozku je každá náprava zvlášť odpružená. K odpružení je použit tlumič Rock Shox Monarch RT3, který je uchycen ve dvou čepech. Jedna strana je připevněna na ložiskovém domku a druhá strana na profilu, který je součástí rámu.



Obr. 31 – Uchycení tlumiče

Přenos krouticího momentu z elektromotoru na čerpadlo je zajištěno pomocí spojky ODLHAM typu OX s průchozím otvorem. Spojka je k hřídelím připevněná pomocí svěrného spoje. Pomocí spojky se vyrovná případné vyosení hřídelí a taky funguje jako pojistný člen proti přetížení.



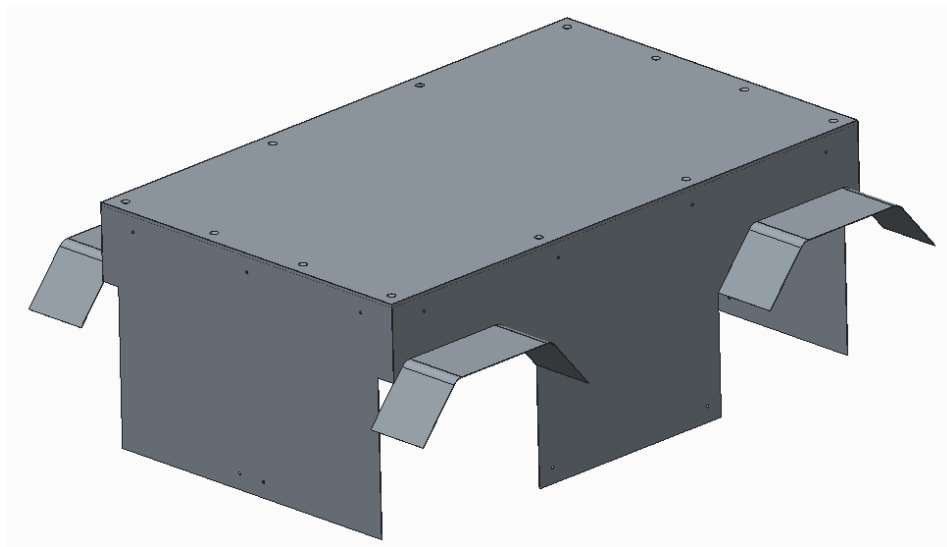
Obr. 32 – Spojka OLDHAM

Do kola je vložena osa ze železa, která je buď nalisovaná a přilepená nebo přivařená ke kovovému disku. Na konci osy je čtyřhran, který zajišťuje přenos momentu na kolo.



Obr. 33 – Kolo s hřídelí

Plášť (jen obvod) podvozku je udělaný ze slabého plechu. Skládá se ze čtyř hlavních kusů, přední, zadní a dva boční. K bočním plechům jsou přivařeny blatníky. Plechy jsou přišroubované k rámu na několika místech, aby se plech nezvlnil. V horní části je hliníková deska, která je taky přišroubovaná k rámu.

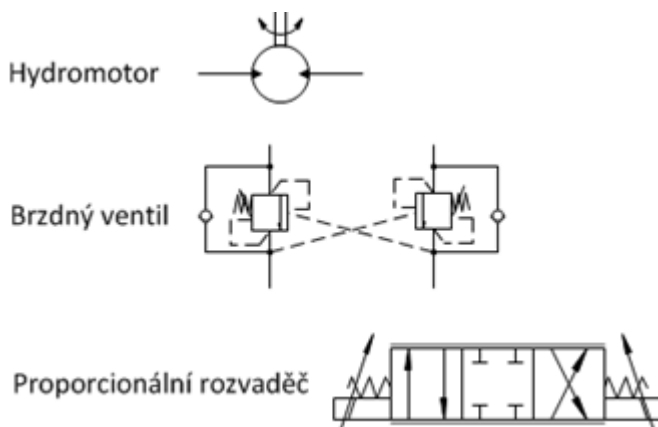


Obr. 34 – Kryt

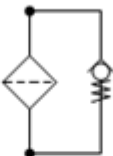
7.2 Hydraulické schéma

Hydraulické schéma, které je na obrázku 35, se trochu liší oproti původnímu návrhu. Jsou zde na místo čtyř použity jen dva rozvaděče a dva brzdné ventily. Hlavním důvodem tohoto kroku je, že se řídí vždy jedna strana kol současně, kvůli přesnému zatáčení. Ušetří to hlavně cenu, hmotnost a prostor potřebný k připevnění těchto komponent.


Schematické značky použitých komponent:

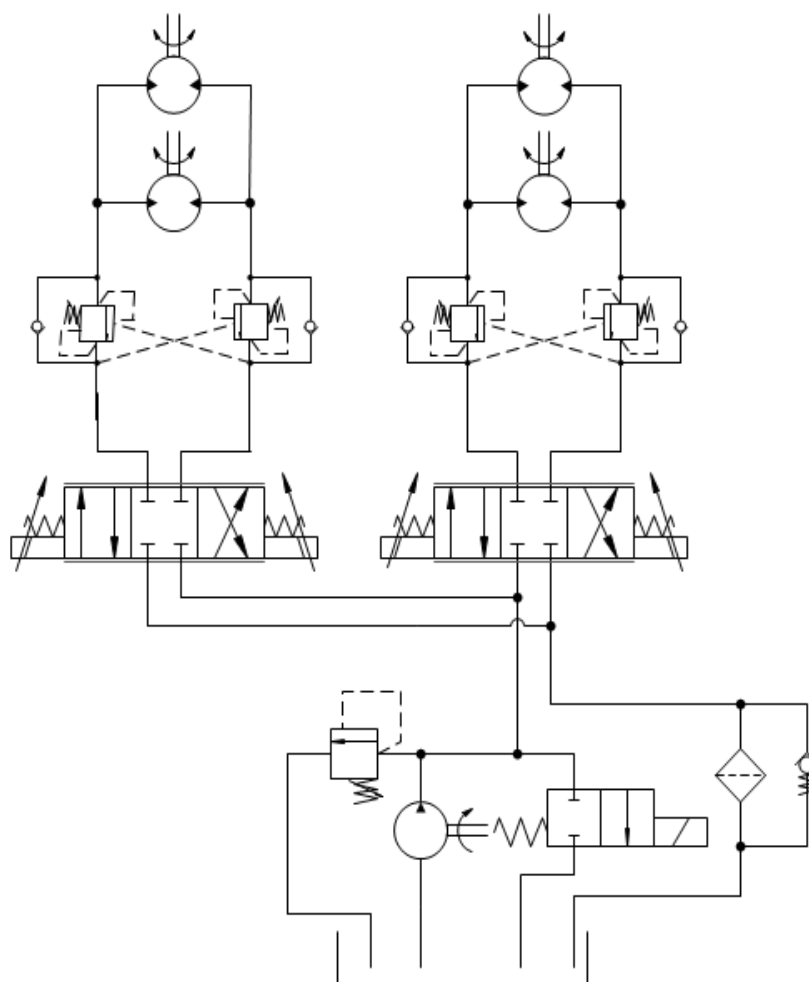


Odlehčovací rozvaděč 

Odpadní filtr 

Hydrogenerátor 

Pojistný ventil 



Obr. 35 – Hydraulické schéma

7.3 Výpočet pohonů

Výpočet potřebné síly

Znamé hodnoty:

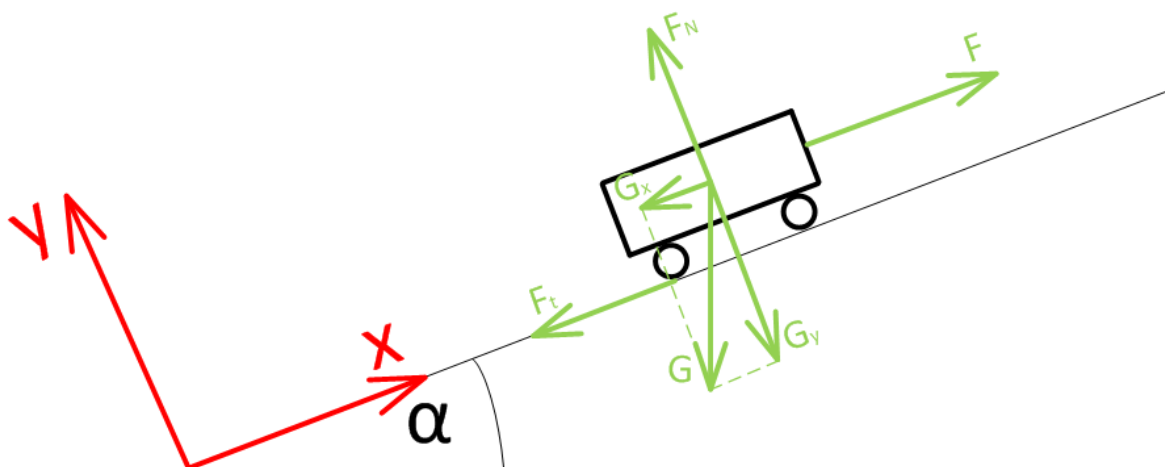
Hmotnost $m = 400\text{kg}$

Gravitační zrychlení $g = 9,81\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

Valivý odpor $f = 0,02$ (hodnota je pro tvrdé povrchy jako asfalt, polní cesta, beton,..)

- Nakloněná rovina

Nejprve je vypočítána síla potřebná k rozjetí podvozku po nakloněné rovině 45° obrázek 36. Výpočet probíhá tak, že se rozloží síly na složky X a Y a zavedou se do souřadného systému. Následně jsou vytvořeny rovnice rovnováhy. Z jedné rovnice rovnováhy je zpočítána normálová síla F_N . Dosazením této normálové síly do druhé rovnice dostaneme výslednou sílu F .



Obr. 36 – Nakloněná rovina

$$\sum F_x = 0; F_{nr} - F_t - G \cdot \sin \alpha = 0 \rightarrow F_{nr} = F_t + G \cdot \sin \alpha \quad (1)$$

$$\sum F_y = 0; F_N - G \cdot \cos \alpha = 0 \rightarrow F_N = G \cdot \cos \alpha \quad (2)$$

$$F_N = g \cdot m \cdot \cos \alpha \quad (3)$$

$$F_N = 9,81 \cdot 400 \cdot \cos 45^\circ$$

$$\underline{F_N = 2774,7 \text{ N}}$$

$$F_{nr} = F_t + G \cdot \sin \alpha \quad (4)$$

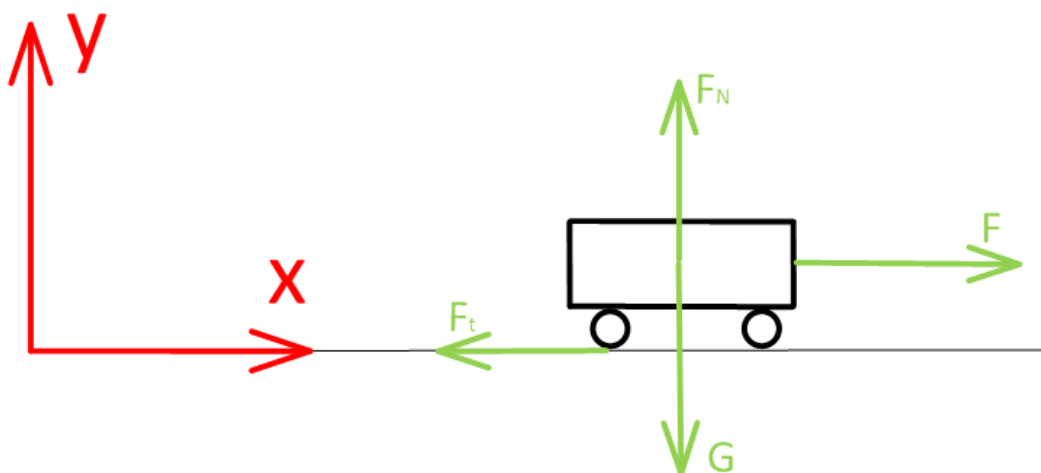
$$F_{nr} = F_N \cdot f + m \cdot g \cdot \sin \alpha$$

$$F_{nr} = 2774,7 \cdot 0,02 + 400 \cdot 9,81 \cdot \sin 45$$

$$\underline{F_{nr} = 2830,2 \text{ N}}$$

- Rovina

Nyní je vypočítaná síla potřebná k rozjetí po rovině. Postup výpočtu je stejný jako u nakloněné roviny.



Obr. 37 – Rovina

$$\sum F_x = 0; F_r - F_t = 0 \rightarrow F_r = F_t \quad (5)$$

$$\sum F_y = 0; F_N - G = 0 \rightarrow F_N = G \quad (6)$$

$$F_N = g \cdot m \quad (7)$$

$$F_N = 9,81 \cdot 400$$

$$\underline{F_N = 3924 \text{ N}}$$

$$F_r = F_t \quad (8)$$

$$F_r = F_N \cdot f \quad (9)$$

$$F_r = 2943 \cdot 0,02$$

$$\underline{F_r = 78,48 \text{ N}}$$

Srovnáním vypočítaných potřebných sil pro nakloněnou rovinu a rovinu bylo zjištěno, že síla pro rozjetí na nakloněné rovině F_{nr} je větší, proto je zahrnuta do dalších výpočtů.

$$\underline{F_r = 78,48 \text{ N}}$$

$$\underline{F_{nr} = 2830,2 \text{ N}}$$

$$\underline{F_{nr} > F_r}$$

Potřebný kroutící moment hydromotoru

Z vypočítané síly se vypočítal potřebný kroutící moment k roztočení jednoho kola. Poloměr použitého kola r_k je 150 mm.

$$M_{kHM} = \frac{F_{nr}}{4} \cdot r_k \quad (10)$$

$$M_{kHM} = \frac{2830,2}{4} \cdot 0,15$$

$$\underline{M_{kHM} = 106,1 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

Maximální otáčky hydromotoru

Podvozek může jet maximální rychlostí $v_{pmax} \ 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Z toho jsou vypočítané maximální možné otáčky hydromotoru. Poloměr použitého kola je 0,15 m.

$$n_{HM} = \frac{60 \cdot v_{pmax}}{2 \cdot r_k \cdot \pi} \quad (11)$$

$$n_{HM} = \frac{60 \cdot 0,5}{2 \cdot 0,15 \cdot \pi}$$

$$\underline{n_{HM} = 31,83 \text{ ot/min}}$$

Výpočet hydraulického obvodu

Znamé hodnoty:

Hodnoty účinností jsou zvolené dle konzultace s odborníkem na hydrauliku.

Průtoková účinnost $\eta_Q = 0,82$

Geometrická účinnost $\eta_v = 0,95$

Celková účinnost $\eta_c = 0,9$

Potřebný krouticí moment $M_{kHM} = 106,1 \text{ N}\cdot\text{m}$

Maximální otáčky otáčení $n_{HM} = 31,83 \text{ ot/min}$

Volba tlaku pojistného ventilu

Volím pracovní tlak 140 bar. Z tohoto důvodu volím tlak pojistného ventilu Δp_{pv} 150 bar.

Potřebný objemový průtok pro roztočení hydromotoru

Byl zvolen hydromotor OMP60 od firmy Danfoss, který má krouticí moment $115 \text{ N}\cdot\text{m}$ a geometrický objem $59,1 \text{ cm}^3$. Z geometrického objemu a maximálních otáček se vypočítá potřebný objemový průtok hydrogenerátoru (čerpadla) $Q_{vč}$ pro roztočení hydromotoru. Následně se vypočítá geometrický objem čerpadla $V_{gč}$, podle kterého se zvolí, jaké čerpadlo se použije.

$$Q_{vč} = \frac{V_{gHM} \cdot n_{HM}}{\eta_Q} = \frac{0,591 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{127,32}{60}}{0,82} = \underline{\underline{1,53 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 9,18 \text{ l/min}}}$$

$$V_{gč} = \frac{Q_{vč}}{\eta_{el} \cdot \eta_v} = \frac{9,18}{5000 \cdot 0,95} = \underline{\underline{1,93 \cdot 10^{-3} \text{ l} = 1,93 \text{ cm}^3}} \quad (12,13)$$

Je zvoleno čerpadlo s vnějším ozubením od firmy Hydrocom XV-1P/2,2 jehož geometrický objem $V_{gčs}$ je $2,08 \text{ cm}^3$. (Další parametry čerpadla a hydromotoru níže v textu.)

Skutečný objemový průtok čerpadla

Ze zvoleného čerpadla se spočítá jeho skutečný objemový průtok a příkon P_{el} .

$$Q_{v\check{s}} = \frac{V_{g\check{s}} \cdot n_{el} \cdot \eta_v}{1000} = \frac{2,08 \cdot 5000 \cdot 0,95}{1000} = \underline{\underline{9,88 \text{ l/min} = 0,165 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}}$$

Příkon Hydrogenerátoru

$$P_{el} = Q_{v\check{s}} \cdot \Delta p_{pv} \cdot \frac{1}{\eta_c} = 0,165 \cdot 10^{-3} \cdot 15 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{0,9} = \underline{\underline{2750 \text{ W}}} \quad (14,15)$$

Pro pohánění čerpadla je zvolen elektromotor který má výkon 3000 W.

Velikost potrubí

U výpočtu potrubí se vychází z objemového průtoku a rychlosti proudění v jednotlivých potrubích. Rychlosti proudění v potrubí se volí z rozsahů, které byly zjištěny experimentálně a jsou tedy optimální.

Průměr tlakového potrubí

$$\phi D_t = \sqrt{\frac{Q_{v\check{s}}^4}{\pi \cdot v_t}} = \sqrt{\frac{0,165 \cdot 10^{-3} \cdot 4}{\pi \cdot 5}} = \underline{\underline{6,48 \text{ mm}}} \rightarrow \text{volím } \phi 7 \text{ mm} \quad (16)$$

$$v_t = (3 \div 7) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Průměr sacího potrubí

$$\phi D_s = \sqrt{\frac{Q_{v\check{s}}^4}{\pi \cdot v_s}} = \sqrt{\frac{0,165 \cdot 10^{-3} \cdot 4}{\pi \cdot 0,8}} = \underline{\underline{16,2 \text{ mm}}} \rightarrow \text{volím } \phi 17 \text{ mm} \quad (17)$$

$$v_s = (0,5 \div 1,5) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Průměr odpadního potrubí

$$\phi D_{od} = \sqrt{\frac{Q_{včs} \cdot 4}{\pi \cdot v_{od}}} = \sqrt{\frac{0,165 \cdot 10^{-3} \cdot 4}{\pi \cdot 3,5}} = \underline{7,75 \text{ mm}} \rightarrow \text{volím } \phi 8 \text{ mm} \quad (18)$$

$$v_{od} = (1,5 \div 4) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

7.4 Popis použitých komponent

Elektromotor HPM3000B

Pro pohon čerpadla je vybrán DC motor od firmy Golden motor. Tyto motory mají rozsah výkonu od 200W do 20kW a rozsah napětí od 24V do 120V. Tyto motory se často aplikují u elektromobilů, koloběžek, vysokozdvizných vozíků a ve spoustě dalších odvětví, kde je zapotřebí šetřit životní prostředí. Pro tuto aplikaci je použit HPM3000B, který se dělá ve dvou variantách. Jedna varianta je na 48V a druhá na 72V. Také je možné si vybrat ze dvou variant chlazení a to vzduchem nebo kapalinou. Vhodnější pro tuto variantu byl 48V a vzduchem chlazený (vlastní ventilátor) motor.



Obr. 38 – Elektromotor

Parametry elektromotoru	
Napětí	48V
Účinnost	90%
Rozměry	Ø180x125mm
Hmotnost	8kg
Výkon	2-3kW
Otáčky	3000-5000ot/min
Krouticí moment	10N·m

Tabulka 11 – Parametry elektromotoru

Bldc kontrolér

K motoru se dodává i kontrolér pro jeho řízení. Řízení probíhá přímou regulací momentu. Programování tohoto kontroléru se provádí přes USB.



Obr. 39 – Kontrolér

Parametry kontroléru	
Napětí	48V
Řízení	Momentové
Rozměry	170x120x50mm
Hmotnost	1,9kg

Tabulka 12 – Parametry kontroléru

Hydromotor OMP60

Každé kolo zvlášť je poháněno jedním hydromotorem od firmy Danfoss. Tato firma nabízí spoustu provedení těchto motorů s velkým rozsahem parametrů. Výhody používání těchto motorů je v tom, že přes jejich malé rozměry a hmotnost jsou velice výkonné. Dle výpočtů byl vybrán hydromotor OMP60.



Obr. 40 – Hydromotor

Parametry hydromotoru OMP60	
Krouticí moment	115N·m
Max. otáčky	1000ot/min
Geometrický objem	59,1cm ³
Hmotnost	6kg
Max. pracovní tlak	140bar
Max. průtok	60l/min

Tabulka 13 – Parametry hydromotoru

Hydrogenerátor (čerpadlo)

Pro rozvod kapaliny po hydraulickém obvodu a roztočení hydromotoru slouží čerpadlo od firmy Hydrocom XV-1P/2,2. Je to čerpadlo s vnějším ozubením a velice malými rozměry. Toto čerpadlo se dělá v různých konstrukčních variantách pro připojení k elektromotoru. Celé označení čerpadla je X1P2061BBBA.



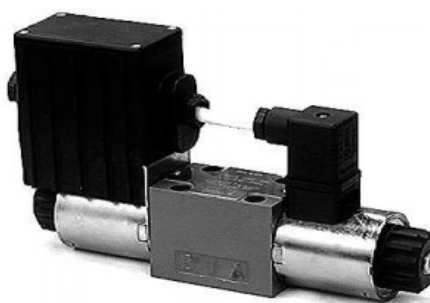
Obr. 41 – Čerpadlo

Parametry čerpadla XV1P/2,2	
Krouticí moment	32,8N·m
Max. otáčky	6000ot/min
Geometrický objem	2,02cm ³
Hmotnost	1,08kg
Max. pracovní tlak	250bar
Max. průtok	13,2l/min

Tabulka 14 – Parametry čerpadla

Proporcionální rozvaděč PRM2-063Z113024EK

Pro řízení průtoku slouží proporcionální rozvaděč od firmy Agro Hytos. Zde je zvolen typ se dvěma protilehlými magnety, které jsou mezi sebou propojené. Úkolem magnetů je přestavit šoupátko do určité polohy a tím řídit průtok. Má vysokou spolehlivost a zajistí spojitě řízení průtoků v obou směrech. Připojovací rozměry má podle normy ISO 4401.



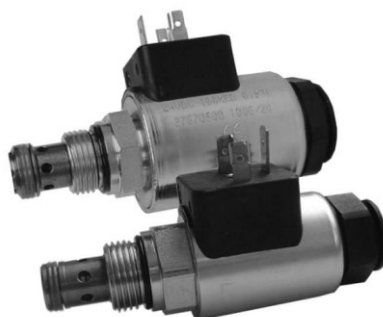
Obr. 42 – Proporcionální rozvaděč

Parametry rozvaděče	
Napětí	24V
Proudový odběr	1A
Hmotnost	2,4kg
Max. pracovní tlak	350bar
Max. průtok	30l/min

Tabulka 15 – Parametry rozvaděče

Šoupátkový rozvaděč SD2E-A2/2/12

Přímořízený šoupátkový elektromagnetický rozvaděč od firmy Agro Hytos se používá především k usměrnění a hrazení průtoku kapaliny, čili když nedochází k průtoku kapaliny obvodem a čerpadlo stále běží, tak kapalina prochází zpět do nádrže přes tento rozvaděč a tím se obvod odlehčí.



Obr. 43 – Šoupátkový rozvaděč

Parametry rozvaděče	
Napětí	24V
Proudový odběr	1A
Hmotnost	1kg
Max. pracovní tlak	350bar
Max. průtok	30l/min

Tabulka 16 – Parametry rozvaděče

Brzdňý ventil WB-C-DE-LU-38-X

Brzdňé ventily od firmy Hydrocom jsou plynule regulovatelné ventily. Zátěže mohou kontrolovaně klesat nebo být drženy. Ventil nám zajišťuje bezpečnostní ochranu proti poškození hadice nebo potrubí, držení zátěže bez objemových ztrát a pro ochranu spotřebiče proti přetížení.



Obr. 44 – Brzdňý ventil

Parametry brzdňého ventilu	
Hmotnost	1,5kg
Max. pracovní tlak	350bar
Max. průtok	40l/min

Tabulka 17 – Parametry brzdňého ventilu

Odpadňí filtr E094-671

Odpadňí filtr od firmy Agro Hytos je ve zpětné větvi hydraulického obvodu. Slouží tam především k čištění hydraulické kapaliny, aby nedošlo k poškození a zanesení komponent. Ve filtru je vložka, která se musí čistit nebo měnit. Při ucpání tohoto sítka se otevře obtokový ventil.



Obr. 45 – Odpadňí filtr

Parametry odpadního filtru	
Hmotnost	0,8kg
Otvírací tlak obtokového ventilu	1,5bar
Max. průtok	50l/min

Tabulka 18 – Parametry odpadního filtru

Pojistný ventil VPM 3/8 L

Pojistný ventil slouží k ochraně hydraulického obvodu, kdy při přetížení obvodu, což je tlak větší než 150 bar se tento ventil otevře a obvod odlehčí. Ventil je přímo řízený (pružinou).



Obr. 46 – Pojistný ventil

Parametry pojistného ventilu	
Hmotnost	0,5kg
Pojistný tlak	150bar
Max. průtok	40l/min

Tabulka 19 – Parametry pojistného ventilu

Nafukovací kolo

Pro kontakt podvozku se zemí je použito nafukovací kolo s plechovým pozinkovaným diskem. Nosnost kola je 150 kilogramů. V základu je k dostání s ložiskem. Pro aplikaci na podvozek je ložisko ale vydělané.

Parametry kola	
Průměr kola	300mm
Šířka kola	90mm
Délka náboje	50mm
Nosnost	150kg

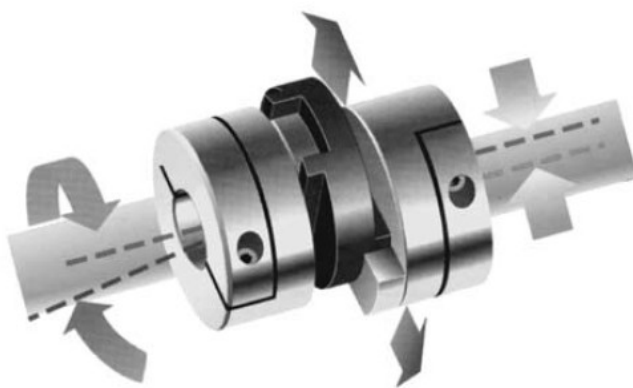
Tabulka 20 – Parametry kola



Obr. 47 – Kolo

Spojka OLDHAM OX

Spojka slouží pro přenos krouticího momentu z elektromotoru na čerpadlo. Vyrovnává axiální a radiální posunutí a úhlovou nesouosost. Spojka je složená ze dvou polovin a středu, který přenáší krouticí moment. Přenos krouticího momentu je přenášén díky svěrnému spoji. Označení spojky je OX41G_D1. Jedna strana je vrtaná na 20 mm a druhá na 12,7 mm.



Obr. 48 – Spojka OLDHAM

Parametry spojky	
Krouticí moment (nominální)	17 N·m
Kritický moment	57 N·m
Hmotnost spojky	142 g

Tabulka 21 – Parametry spojky

Tlumič ROCK SHOX Monarch RT3

Odpružení je provedeno tlumičem ROCK SHOX Monarch RT3, který má nízkou hmotnost, což je 215 gramů. Je možnost nastavení tuhosti pružení a výšky odskoku.



Obr. 49 – Tlumič ROCK SHOX

Řídící a snímací prvky

V podvozku nejsou zahrnuty různé snímače a řídicí PC. Tyto prvky je nutné specifikovat podle toho, kde se podvozek bude pohybovat a hlavně za jakým účelům se bude používat. Určitě by tam byly vhodné snímače pro měření vzdálenosti, kvůli pohybu v budovách, aby nedošlo ke kolizi se stěnou nebo jinou překážkou. Dále by byly vhodné použít kamery, kdyby robot vyjel operátorovi z dohledu, nejlépe kamery s dobrým rozlišením. Podvozek by měl být řízen na dálku, například přes wifi. Spoustu PC už má v sobě wifi integrovanou. Poslední je výběr baterie, která bude tyto řídicí a snímací prvky pohánět. V robotu je váhová rezerva přibližně 30 kilogramů, která je určena pro tyto účely.

7.5 Výpočet kapacity baterie

V podvozku jsou použity dvě baterie jedna pro silný elektromotor a druhá pro řídicí prvky (tyto prvky nejsou navrhnuty, proto není výpočet baterie). Jelikož výrobce elektromotoru, který pohání čerpadlo, neuvádí jeho proudový odběr, tak bylo nutné ho spočítat. Vychází se z výkonu a účinnosti motoru.

Baterie pro pohánění elektromotoru

Znamé hodnoty:

Účinnost motoru $\eta = 90\%$

Výkon motoru $P = 3000 \text{ W}$

Napětí motoru $U = 48 \text{ V}$

$$\eta = \frac{P}{P_{\text{ř}}} \rightarrow P_{\text{ř}} = \frac{P}{\eta} = \frac{3000}{0,9} = \underline{\underline{3333,33 \text{ W}}} \quad (19)$$

$$P_{\text{ř}} = U \cdot I \rightarrow I = \frac{P_{\text{ř}}}{U} = \frac{3333,33}{48} = \underline{\underline{69,44 \text{ A}}} \quad (20)$$

Aby podvozek vydržel hodinu v provozu je zapotřebí baterie s kapacitou 69,44 Ah. Byla zvolena baterie LiFePO4 s kapacitou 80 Ah. Podvozek při plném zatížení vydrží přibližně hodinu a devět minut.



Obr. 50 – Baterie

Parametry baterie	
Napětí	48V
Kapacita	80Ah
Rozměry	382x251x147mm
Hmotnost	24kg
Stupeň krytí	IP54

Tabulka 22 – Parametry baterie

7.6 Kontrolní výpočty

Kontrola pera u hydromotoru

Znamé hodnoty:

Materiál hřídele 11500 Rm – 500 MPa

Bezpečnost $k=2$

Zatížení míjivé $c_2=0,75$

Krouticí moment 115N·m

Průměr hřídele $\varnothing d=25\text{mm}$

Rozměry pera 8x7x32

Kontrola na střih

$$\tau_s = \frac{F}{S_1} \leq \tau_{Ds} \quad (21)$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot M_{k_{HM}}}{d \cdot b \cdot l} = \frac{2 \cdot 115000}{25 \cdot 8 \cdot 32} = \underline{35,95 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{Dt} = \frac{0,6 \cdot R_m}{k} \cdot c_2 = \frac{0,6 \cdot 500}{2} \cdot 0,75 = \underline{112,5 \text{ MPa}} \quad (22)$$

$$\tau_{Ds} = \sigma_{Dt} \cdot 0,6 = 112,5 \cdot 0,6 = \underline{67,5 \text{ MPa}} \quad (23)$$

$$\underline{\tau_s \leq \tau_{Ds} \rightarrow \text{Vyhovuje!!}}$$

Kontrola na otláčení

$$p = \frac{F}{S_2} \leq p_D \quad (24)$$

$$p = \frac{2 \cdot M_k}{d \cdot t_1 \cdot l} = \frac{2 \cdot 115000}{25 \cdot 2,9 \cdot 32} = \underline{35,95 \text{ MPa}}$$

$$p_D = \sigma_{Dt} = \underline{187,5 \text{ MPa}}$$

(25)

$$\underline{p \leq p_D \rightarrow \text{Vyhovuje!!}}$$

Kontrola čepu – uložení nápravy

Znamé hodnoty:

Materiál čepu 11600 – Rm 600

Materiál vidlice a táhla 11373 – Rm 370

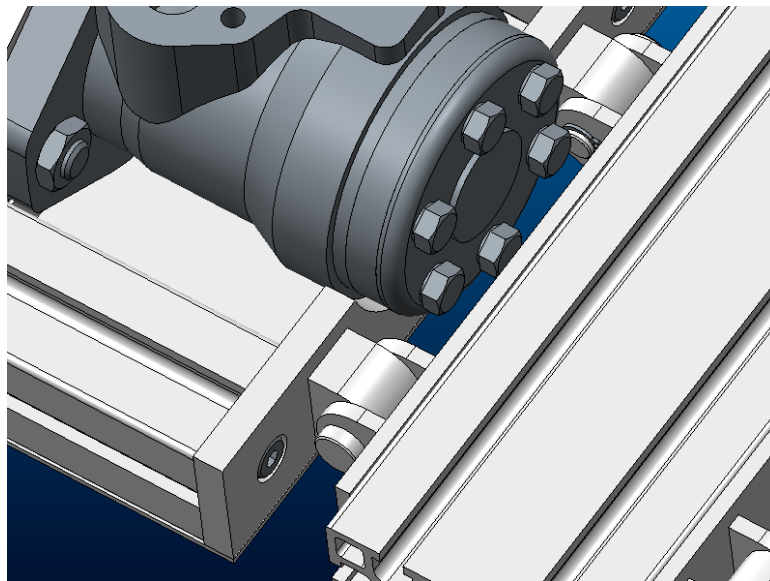
Bezpečnost k=2

Zatížení mívivé c₂=0,75

Šířka vidlice a=5mm

Šířka táhla b=20mm

Průměr čepu Ø d=10mm



Obr. 51 – Čepový spoj

Výpočet síly

$$F_{celková} = m \cdot g = 400 \cdot 9,81 = \underline{3924N} \quad (26)$$

$$F = \frac{F_{celková}}{8} = \frac{3924}{8} = \underline{490,5N} \quad (27)$$

Kontrola na střih

$$\tau_s = \frac{F}{S} \leq \tau_{Ds} \quad (28)$$

$$\tau_s = \frac{4 \cdot F}{2 \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 490,5}{2 \cdot \pi \cdot 10^2} = \underline{3,1 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{Dt} = \frac{0,6 \cdot Rm}{k} \cdot c_2 = \frac{0,6 \cdot 600}{2} \cdot 0,75 = \underline{135 \text{ MPa}} \quad (29)$$

$$\tau_{Ds} = \sigma_{Dt} \cdot 0,6 = 135 \cdot 0,6 = \underline{81 \text{ MPa}} \quad (30)$$

$$\underline{\tau_s \leq \tau_{Ds} \rightarrow \text{Vyhovuje!!}}$$

Kontrola na otláčení

$$p_2 = \frac{F}{S_2} \leq p_D \quad (31)$$

$$p_2 = \frac{F}{d \cdot 2 \cdot a} = \frac{490,5}{10 \cdot 2 \cdot 5} = \underline{4,9 \text{ MPa}}$$

$$p_{D2} = \sigma_{Dt} = \frac{0,6 \cdot Rm}{k} \cdot c_2 = \frac{0,6 \cdot 370}{2} \cdot 0,75 = \underline{83,25 \text{ MPa}} \quad (32)$$

$$\underline{p_2 \leq p_{D2} \rightarrow \text{Vyhovuje!!}}$$

$$p_1 = \frac{F}{S_1} \leq p_{D1} \quad (33)$$

$$p_1 = \frac{F}{d \cdot b} = \frac{490,5}{10 \cdot 20} = \underline{2,45 \text{ MPa}}$$

$$p_{D1} = 0,35 \cdot p_{D2} = 0,35 \cdot 83,25 = \underline{29,14 \text{ MPa}} \quad (34)$$

$$\underline{p_1 \leq p_{D1} \rightarrow \text{Vyhovuje!!}}$$

Kontrola na ohyb

$$\sigma_o = \frac{M_{o\max}}{W_o} \leq \sigma_{Do} \quad (35)$$

$$\sigma_o = \frac{\frac{F}{2} \cdot c}{0,1 \cdot d^3} = \frac{\frac{F}{2} \cdot \left(\frac{a}{2} + \frac{b}{4}\right)}{0,1 \cdot d^3} = \frac{\frac{490,5}{2} \cdot \left(\frac{5}{2} + \frac{20}{4}\right)}{0,1 \cdot 10^3} = \underline{18,4 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{Do} = \sigma_{Dt} = \frac{0,6 \cdot Rm}{k} \cdot c_2 = \frac{0,6 \cdot 600}{2} \cdot 0,75 = \underline{135 \text{ MPa}} \quad (36)$$

$$\underline{\sigma_o \leq \sigma_{Do} \rightarrow \text{Vyhovuje!!}}$$

Kontrola čepu – uložení tlumiče

Známe hodnoty:

Materiál čepu 11600 – Rm 600

Materiál vidlice a táhla 11373 – Rm 370

Bezpečnost k=2

Zatížení mívivé c₂=0,75

Šířka vidlice a=5mm

Šířka táhla b=23mm

Průměr čepu Ø d=8mm

Výpočet síly

$$F_{celková} = m \cdot g = 400 \cdot 9,81 = \underline{3924N}$$

$$F = \frac{F_{celková}}{\sin \alpha \cdot 4} = \frac{3924}{\sin 62 \cdot 4} = \underline{1111N} \quad (37)$$

Kontrola na střih

$$\tau_s = \frac{F}{S} \leq \tau_{Ds}$$

$$\tau_s = \frac{4 \cdot F}{2 \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 1111}{2 \cdot \pi \cdot 8^2} = \underline{11 MPa}$$

$$\sigma_{Dt} = \frac{0,6 \cdot Rm}{k} \cdot c_2 = \frac{0,6 \cdot 600}{2} \cdot 0,75 = \underline{135 MPa}$$

$$\tau_{Ds} = \sigma_{Dt} \cdot 0,6 = 135 \cdot 0,6 = \underline{81 MPa}$$

$$\underline{\tau_s \leq \tau_{Ds} \rightarrow Vyhovuje!!}$$

Kontrola na otláčení

$$p_2 = \frac{F}{S_2} \leq p_D$$

$$p_2 = \frac{F}{d \cdot 2 \cdot a} = \frac{1111}{8 \cdot 2 \cdot 5} = \underline{13,89 MPa}$$

$$p_{D2} = \sigma_{Dt} = \frac{0,6 \cdot Rm}{k} \cdot c_2 = \frac{0,6 \cdot 370}{2} \cdot 0,75 = \underline{83,25MPa}$$

$$\underline{p_2 \leq p_{D2} \rightarrow Vyhovuje!!}$$

Otlačení p_1 nelze vypočítat, protože výrobce tlumiče neudává materiál lužka pro čep.

Kontrola na ohyb

$$\sigma_o = \frac{M_{o\max}}{W_o} \leq \sigma_{Do}$$

$$\sigma_o = \frac{\frac{F}{2} \cdot c}{0,1 \cdot d^3} = \frac{\frac{F}{2} \cdot \left(\frac{a}{2} + \frac{b}{4}\right)}{0,1 \cdot d^3} = \frac{\frac{1111}{2} \cdot \left(\frac{5}{2} + \frac{23}{4}\right)}{0,1 \cdot 8^3} = \underline{89,51MPa}$$

$$\sigma_{Do} = \sigma_{Dt} = \frac{0,6 \cdot Rm}{k} \cdot c_2 = \frac{0,6 \cdot 600}{2} \cdot 0,75 = \underline{135MPa}$$

$$\underline{\sigma_o \leq \sigma_{Do} \rightarrow Vyhovuje!!}$$

8. Závěr

Tato diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem kolového podvozku řízeného pomocí hydraulických pohonů. Vychází z analýzy současně používaných podvozků a hydraulických prvků, avšak kombinace podvozku s hydraulickými pohony společně, je velice ojedinělá a málo používaná. Na základě všech dostupných materiálů byl sestaven požadavkový list.

Po navrhnutí požadavkového listu byly vytvořeny tři varianty, které se liší ve způsobu zatáčení, rozvodu krouticího momentu na kola a v konstrukci nosného rámu. Hodnotovou analýzou se vybral neoptimálnější podvozek a ten se dále rozpracovával. Při jeho návrhu se vyskytnulo několik problémů. Jeden ze zásadních problémů byl v celkové váze. Původní návrh byl, že podvozek by měl vážit do 150 kilogramů a jet rychlostí 2 m/s. Jenže aby jel podvozek touto rychlostí, bylo zapotřebí mít 10kW elektromotor, který byl těžký a měl velkou spotřebu. Aby tento motor vydržel alespoň hodinu, bylo nutno mít baterii s vysokou kapacitou. A tady nastal ten první problém. Taková baterie vážila spoustu kilogramů a měla velké rozměry. Z tohoto důvodu byla hmotnost podvozku zvednuta na 250 kilogramu a rychlost snížena na 0,5 m/s. Tím se docílilo toho, že je zapotřebí jen 3 kW elektromotor a mnohem menší a lehčí baterie. Ale i s použitím těchto komponent se podvozek dostal na hmotnost přibližně 220 kilogramů. Zbýlých 30 kilogramů je určeno pro senzoriku a řídicí komponenty, popřípadě pro další úpravy. V závěru byly provedeny kontrolní výpočty čepů a pera. Všechny kontrolované komponenty vyhověly.

Ve výsledku bylo zjištěno, že pokud by se měl hydraulický obvod pohánět elektromotorem je zapotřebí, aby se podvozek pohyboval nízkou rychlostí. Pro větší rychlosti je vhodnější použít spalovací agregát, nebo kombinaci obou možností, avšak to by se hmotnost podvozku výrazně zvýšila.

9. Seznam použitých zdrojů

Internetové zdroje

[1] KÁRNÍK, Ladislav. *Praktické aplikace servisních robotů* [online]. 2011 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://robot.vsb.cz/file.php/prakticke-aplikace-servisnich-robotu.pdf>

[2] KUBÍČEK, Michal. *Všesměrové roboty* [online]. 2012 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: http://uai.fme.vutbr.cz/szz/2012/BP_Kubicek.pdf

[3] SUDER, Michal. *Konstrukční návrh čtyřkolového podvozku s Weinsteinovými koly* [online]. 2010 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/81286/SUD029_FS_B2341_2301R013_2010.pdf?sequence=1

[4] Počátky hydrauliky v robotice. *Automa* [online]. 2013 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: http://automa.cz/index.php?id_document=28302

[5] SEDLÁČEK, Jiří. *Přímočarý hydromotor* [online]. 2012 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52524

[6] Rozvaděč. *Kardanka* [online]. 2015 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.hydraulicky-rozvadec.eu/>

Seznam zdrojů použitých obrázků

Obr. 1 - Čtyřkolový podvozek - <http://www.edb.cz/grmat/nabidky/19661x3.jpg>

Obr. 2 - Koncepce podvozku - <http://robot.vsb.cz/file.php/prakticke-aplikace-servisnich-robotu.pdf>

Obr. 3 - Stanfordského kolo - http://uai.fme.vutbr.cz/szz/2012/BP_Kubicek.pdf

Obr. 4 - Kolo Illanator - http://uai.fme.vutbr.cz/szz/2012/BP_Kubicek.pdf

Obr. 5 - Weinsteinovo kolo - https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/81286/SUD029_FS_B2341_2301R013_2010.pdf?sequence=1

Obr. 6 - Diferenční řízení - http://uai.fme.vutbr.cz/szz/2012/BP_Kubicek.pdf

Obr. 7 - Synchronní řízení - http://uai.fme.vutbr.cz/szz/2012/BP_Kubicek.pdf

Obr. 8 – Ackermannovo řízení - http://uai.fme.vutbr.cz/szz/2012/BP_Kubicek.pdf

Obr. 9 – Čerpadlo-

http://imageproxy.jxs.cz/~nd06/jxs/cz~/900/001/c7c3370e5c_96031234_o2.jpg

Obr. 10 – Zubový hydromotor

http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52524

Obr. 11 – Rozvaděč - http://www.argo-hytos.com/uploads/media/Katalog_RPE3-04_hc4014_CZ.pdf

Obr. 12 – Brzdňý ventil - http://www.hydrocom.cz/images/ke_stazeni4/WB-C-DE-LU.pdf

Obr. 13 – Rozvaděč - http://www.hydrocom.cz/images/ke_stazeni4/VMP%20L.pdf

Obr. 27 – Profil Alutec - <http://www.alumatic.home.pl/img/profile/profile4.jpg>

Obr. 38 – Elektromotor - <http://www.goldenmotor.com/frame-bldcmotor.htm>

Obr. 39 – Kontrolér - <http://www.goldenmotor.com/frame-bldcmotor.htm>

Obr. 40 – Hydromotor - <http://files.danfoss.com/documents/52010262.pdf>

Obr. 41 – Čerpadlo - <http://www.hydrocom.cz/images/ke%20stazeni/XV.pdf>

Obr. 42 – Proporcionální rozvaděč –

http://www.argo-hytos.com/uploads/media/Katalog_PRM2-06_hc5104_CZ_01.pdf

Obr. 43 – Šoupátkový rozvaděč –

http://www.argo-hytos.com/uploads/media/Katalog_SD2E-A2_hc4040_CZ_01.pdf

Obr. 44 – Brzdňý ventil - http://www.hydrocom.cz/images/ke_stazeni4/WB-C-DE-LU.pdf

Obr. 45 – Odpadní filtr –

http://www.argo-hytos.com/uploads/media/Katalog_E094_2030_CZ.pdf

Obr. 46 – Pojistný ventil - http://hydrocom.cz/images/ke_stazeni4/VMP%20L.pdf

Obr. 47 – Kolo - <http://www.montako.cz/kola-na-plechovem-disku/1203-nb-300-glv-zinek.html>

Obr. 48 – Spojka OLDHAM - <http://www.teatechnik.cz/spojky-oldham/>

Obr. 49 – Tlumič ROCK SHOX - <http://www.mojekolo.cz/rock-shox-monarch-rt3>

Obr. 50 – Baterie - http://www.alibaba.com/product-detail/48V-80Ah-LiFePO4-battery-pack-with_60089502566.html

10. Seznam příloh

Výkresová dokumentace

SN2_ROB01_HS01 – Hlavní sestava

SN2_ROB01_VS01 – Výkres podsestavy ložiskového domku

SN2_ROB01_SO01 – Výkres hřídele

SN2_ROB01_SO02 – Výkres těla domku

SN2_ROB01_SO03 – Výkres víka domku

Přiložené CD

- Model podvozku (Creo)
- Diplomová práce (formát PDF)
- Technické Výkresy (formát PDF)